

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

L. inw.

~~370~~

324

404  
istesswelt

J. A. Schulze  
Große Phöniker

Zweite Auflage



B. G. Teubner. Leipzig. Berlin



# Die Sammlung

## „Aus Natur und Geisteswelt“

nunmehr über 800 Bände umfassend, bietet wirkliche „Einführungen“ in abgeschlossene Wissensgebiete für den Unterricht oder Selbstunterricht des Laien nach den heutigen methodischen Anforderungen und erfüllen so ein Bedürfnis, dem weder umfangreiche Enzyklopädien, noch skizzenhafte Abrisse entsprechen können. Die Bände wollen jedem geistig Mündigen die Möglichkeit schaffen, sich ohne besondere Vorkenntnisse an sicherster Quelle, wie sie die Darstellung durch berufene Vertreter der Wissenschaft bietet, über jedes Gebiet der Wissenschaft, Kunst und Technik zu unterrichten. Sie wollen ihn dabei zugleich unmittelbar im Beruf fördern, den Gesichtskreis erweiternd, die Einsicht in die Bedingungen der Berufsarbeit vertiefend.

Die Sammlung bietet aber auch dem Fachmann eine rasche zuverlässige Übersicht über die sich heute von Tag zu Tag weitenden Gebiete des geistigen Lebens in weitestem Umfang und vermag so vor allem auch dem immer stärker werdenden Bedürfnis des Forschers zu dienen, sich auf den Nachbargebieten auf dem laufenden zu erhalten. In den Dienst dieser Aufgaben haben sich darum auch in dankenswerter Weise von Anfang an die besten Namen gestellt, gern die Gelegenheit benutzend, sich an weiteste Kreise zu wenden.

So konnte der Sammlung auch der Erfolg nicht fehlen. Mehr als die Hälfte der Bände liegen bereits in 2. bis 8. Auflage vor; insgesamt hat die Sammlung bis jetzt eine Verbreitung von fast 5 Millionen Exemplaren gefunden.

Alles in allem sind die schmucken, gehaltvollen Bände besonders geeignet, die Freude am Buche zu wecken und daran zu gewöhnen, einen Beitrag, den man für Erfüllung körperlicher Bedürfnisse nicht anzusehen pflegt, auch für die Befriedigung geistiger anzuwenden.

Jeder der meist reich illustrierten Bände

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295959

Leipzig, im J

Leubner



**Bisher sind zur Physik und Chemie erschienen:**

**Physik: Einführung, Grundlagen und Geschichte.**

Naturphilosophie. Von Prof. Dr. J. M. Verweien. 2. Aufl. (Bd. 491.)

Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre. Einführung in die Physik. Von Hofrat Prof. Dr. J. Auerbach. 5. Aufl. (Bd. 40.)

Einführung in die Experimentalphysik, Gleichgewicht und Bewegung. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. K. Börnstein. Mit 90 Abbildungen. (Bd. 371.)

Einführung in die Relativitätstheorie. Von Dr. W. Bloch. 3., verb. Auflage. Mit 18 Figuren. (Bd. 618.)

Naturwissenschaften, Mathematik und Medizin im klassischen Altertum. Von Prof. Dr. Joh. E. Heiberg. 2. Aufl. Mit 2 Figuren. (Bd. 370.)

Große Physiker. Von Prof. Dr. J. A. Schulze. 2. Aufl. Mit 6 Bildnissen. (Bd. 324.)

Physikalisches Wörterbuch. Von Prof. Dr. G. Berndt. (Leubners kl. Sachwörterbücher Bd. 5.)

**Mechanik.**

Mechanik. Von Prof. Dr. G. Hamel. 3 Bände. (Bd. 684/86.) I. Grundbegriffe der Mechanik. Mit 38 Fig. im Text. \*II. Mechanik der festen Körper. \*III. Mechanik der flüssigen und luftförmigen Körper.

Aufgaben aus der techn. Mechanik. Von Prof. N. Schmitt. 2 Bde. 2. Aufl. (Bd. 558/559.)

I. Bewegungslehre, Statik und Festigkeitslehre. 240 Aufgaben und Lösungen. Mit zahlreichen Fig. im Text.

II. Dynamik und Hydraulik. 2. Aufl. bearb. von Oberstudientat Prof. Dr. G. Wiegner. 198 Aufgaben und Lösungen. Mit zahlr. Figuren im Text.

Statik. Von Gewerbeschulrat Oberstudiendirektor A. Schau. 2. Aufl. Mit 12 Figuren im Text. (Bd. 828.)

Festigkeitslehre. Von Gewerbeschulrat Oberstudiendirektor A. Schau. 2. Aufl. Mit 119 Figuren im Text. (Bd. 829.)

**Optik, angewandte Optik und Strahlungserscheinungen.**

Das Licht und die Farben. (Einführung in die Optik.) Von Prof. Dr. E. Græh. 5. Auflage. Mit 100 Abbildungen. (Bd. 17.)

Sichtbare und unsichtbare Strahlen. Von Geh. Regierungsrat Prof. Dr. K. Börnstein. 3., neubearb. Aufl. von Prof. Dr. E. Regener. Mit 71 Abbildungen. (Bd. 64.)

Die optischen Instrumente. (Lupe, Mikroskop, Fernrohr, photographisches Objektiv und ihnen verwandte Instrumente.) Von Prof. Dr. M. v. Kolt. 3., vermehrte u. verb. Auflage. Mit 89 Abbildungen im Text. (Bd. 88.)

Das Auge und die Brille. Von Prof. Dr. M. v. Kolt. 2. Aufl. Mit 84 Abbildungen und 1 Lichtdrucktafel. (Bd. 372.)

Das Mikroskop, seine wissenschaftlichen Grundlagen und seine Anwendung. Von Dr. A. Ehringhaus. Mit 75 Abbildungen im Text. (Bd. 678.)

Einführung in die Mikrotechnik. Von Prof. Dr. B. Franz und Oberstudiendirektor Dr. H. Schneider. Mit 18 Abb. (Bd. 765.)

Spektroskopie. Von Prof. Dr. E. Grebe. 2. Aufl. Mit 63 Figuren im Text und auf 2 Doppeltafeln. (Bd. 284.)

Die Kinetographische, ihre Grundlagen und ihre Anwendungen. Von Dr. H. Lehmann. 2. Auflage von Dr. W. Merté. Mit 68 zum Teil neuen Abbild. (Bd. 358.)

Die Photographie, ihre wissenschaftlichen Grundlagen u. ihre Anwendung. V. Dipl.-Ing. Dir. Dr. O. Prelinger. 2., verb. Aufl. Mit 64 Abbildungen. i. T. (Bd. 414.)

Die künstlerische Photographie. Ihre Entwicklung, ihre Probleme, ihre Bedeutung. Von Studienrat Dr. W. Warstat. 2., verb. Aufl. Mit Bilderanhang. (Bd. 410.)

Die Röntgenstrahlen und ihre Anwendung. Von Dr. med. G. Budz. Mit 94 Abbildungen im Text und auf 4 Tafeln. 2. verb. Aufl. (Bd. 556.)



2

von der Wärme. Gemeinverständlich dargestellt von Geh. Reg.-Rat Prof. A. Stein. 2., durchgesehene Auflage. Hrg. von Prof. Dr. A. Wigand. Abbildungen im Text. (Bd. 172.)

**Einführung in die technische Wärmelehre (Thermodynamik).** Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 3. Aufl. von Prof. Dr. Fr. Schmidt. Mit 46 Abb. im Text. (Bd. 516.)

**Praktische Thermodynamik.** Aufgaben und Beispiele zur technischen Wärmelehre. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 2. Aufl. herausgegeben von Prof. Dr. Fr. Schmidt. Mit 40 Abb. im Text und 3 Tafeln. (Bd. 596.)

## **Einführung in die Chemie.**

**Einführung in die allgemeine Chemie.** Von Studentat Dr. B. Davink. 2. Aufl. Mit 24 Figuren. (Bd. 582.)

**Einführung in die anorganische Chemie.** Von Studentat Dr. B. Davink. Mit 31 Abbildungen im Text. (Bd. 598.)

**Einführung in die organische Chemie.** (Natürliche und künstliche Pflanzen- und Tierstoffe.) Von Studentat Dr. B. Davink. 3. Aufl. Mit 9 Abb. im Text. (Bd. 187.)

**Einführung in die analytische Chemie.** Von Dr. F. Küssberg. 2 Bde. I. Theorie und Gang der Analyse. Mit 15 Fig. i. T. II. Die Reaktionen. Mit 4 Fig. i. T. (Bd. 524/25.)

**Einführung in die Biochemie in elementarer Darstellung.** Von Prof. Dr. W. Eöb. 2., durchgef. u. verm. Aufl. V. Prof. Dr. H. Friedenthal. M. 12 Fig. i. T. (Bd. 332.)

**Elektrochemie und ihre Anwendungen.** Von Prof. Dr. A. Arndt. 2. Auflage. Mit 37 Abbildungen im Text. (Bd. 234.)

**Das Radium und die Radioaktivität.** Von Prof. Dr. M. Centnerszwer. 2. Aufl. Mit 33 Figuren im Text. (Bd. 405.)

**Photochemie.** Von Prof. Dr. G. Kümmeß. 2. Aufl. Mit 23 Abb. i. T. u. auf 1 Tafel. (227.)

**Luft, Wasser, Licht und Wärme.** Einführung in die Experimentalchemie. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. K. Blochmann. 5. Aufl. Mit 92 Abbildungen. (Bd. 5.)

**Das Wasser.** Von Geh. Regierungsrat Dr. O. Anselmino. Mit 44 Abbild. (Bd. 291.)

**Chemisches Wörterbuch.** Von Prof. Dr. H. Kemß. Mit 15 Abb. im Text und 5 Tabellen im Anhang. (Leubners kl. Fachwörterbücher Bd. 10/11.)

## **Chemische Technologie.**

**Die künstliche Herstellung von Naturstoffen.** Von Prof. Dr. E. Küß. (Bd. 674.)

**Der Luftstickstoff und seine Verwertung.** Von Prof. Dr. K. Kaiser. 2. Aufl. Mit 13 Abbildungen (Bd. 313.)

**Agrikulturchemie.** Von Dr. P. Krische. 2. verb. Aufl. Mit 21 Abbildungen. (Bd. 314.)

**Die Sprengstoffe, ihre Chemie und Technologie.** Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. K. Biedermann. 2. Auflage. Mit 12 Figuren. (Bd. 286.)

**Farben u. Farbstoffe.** Ihre Erzeugung u. Verwendung. Von Dr. A. Zart. Mit 31 Abb. (Bd. 483.)

**Bierbrauerei.** Von Dr. A. Bau. Mit 47 Abb. (Bd. 333.)

**Wörterbuch der Warenkunde.** Von Prof. Dr. M. Pietisch. (Leubners kleine Fachwörterbücher. Bd. 3.)

## **Naturlehre im Hause.**

**Physik im Küche u. Haus.** Von Studiendirektor Prof. H. Speittamp. 2. Aufl. Mit 54 Abb. (Bd. 478.)

**Chemie im Küche und Haus.** Von Dr. J. Klein. 5. Aufl. (Bd. 76.)

**Desinfektion, Sterilisation, Konservierung.** Von Regierungs- und Medizinalrat Dr. O. Solbrig. Mit 20 Abbildungen. (Bd. 401.)

**Ernährung und Nahrungsmittel.** Von Geh. Rat Prof. Dr. N. Junh. 3. Aufl. Mit 6 Abbildungen und 2 Tafeln. (Bd. 19.)

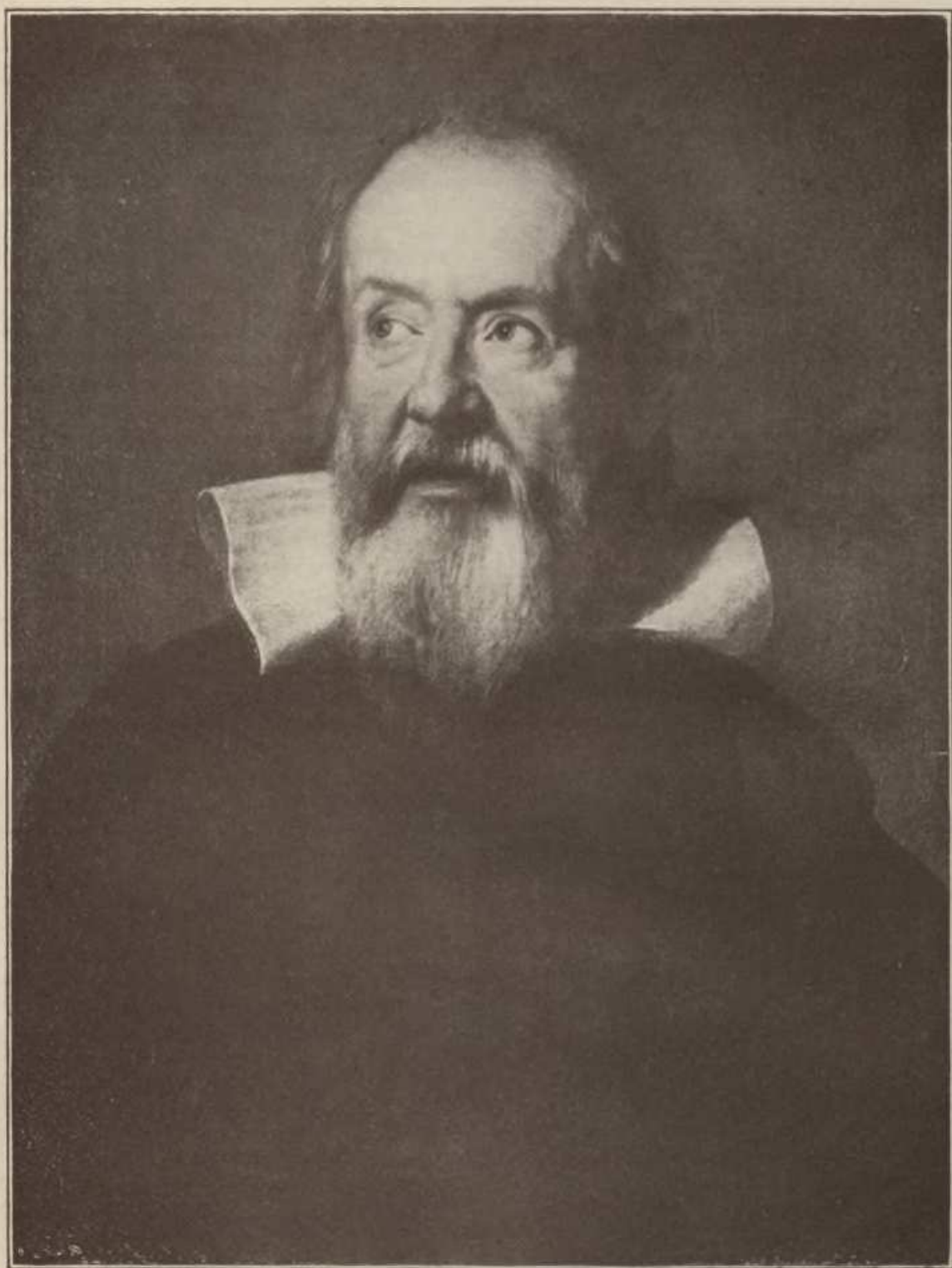
**Die Bakterien im Haushalt der Natur und des Menschen.** Von Prof. Dr. E. Gutzeit. 2. Aufl. Mit 13 Abbildungen. (Bd. 242.)

Weitere Bände befinden sich in Vorbereitung.



BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW





*Galileo Galilei*



*Seibl*

Aus Natur und Geisteswelt  
Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

324. Bändchen

Große Physiker

Von

Prof. Dr. F. A. Schulze  
in Marburg a. L.

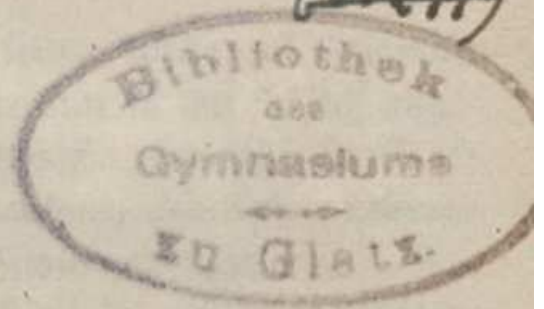
Zweite Auflage

Mit 6 Bildnissen

~~Arbeitsblätter~~  
(2. 244)

N. W. 62.

V, 145.



~~OF~~

246.

~~N. W. 265.~~

~~N. 103.~~

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin 1917



*W. 25*



BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

I 370

Schutzformel für die Vereinigten Staaten von Amerika:  
Copyright 1917 by B. G. Teubner in Leipzig.

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten.

Druck von B. G. Teubner in Dresden.

BPK-B-63/2014

Akc. Nr.

1644/50



## Vorwort zur ersten Auflage.

Zur Abfassung der folgenden Lebensbilder einiger großer Physiker bin ich durch eine freundliche Anregung von Herrn Prof. S. Riharz veranlaßt worden, an den ursprünglich die Aufforderung herangetreten war, dieses Bändchen zu schreiben.

Am schwersten ist mir die richtige Auswahl geworden. Hervorragende Physiker hat es zu allen Zeiten gegeben. Aber welche sind die bedeutendsten? Hätte nicht Archimedes Aufnahme finden müssen? und Otto von Guericke, der Erfinder der Luftpumpe und der Elektrifiziermaschine, Kirchhoff, dem wir die Entdeckung der Spektralanalyse verdanken, Maxwell, der Interpret Faradays, Heinrich Hertz, der Entdecker der elektromagnetischen Wellen? Der Rahmen dieser Sammlung gebot Beschränkung, und es schien mir richtiger, diese in der Zahl der Biographien zu suchen, als in der Ausdehnung der einzelnen Lebensbilder, um wenigstens die Bedeutung der wenigen ausgesuchten um so deutlicher machen zu können. Freuen wir uns, daß die Zahl bedeutender Männer so groß ist, daß die Auswahl schwer wird.

Bemerken möchte ich noch, daß ich in keiner Weise auf Originalstudien Anspruch mache. Die benutzte Literatur ist am Schluß angegeben. Den Herren Leo Koenigsberger, Bosscha, Guenther danke ich auch an dieser Stelle für die gütige Erlaubnis, aus ihren Lebensbildern von Helmholtz, Huygens, Galilei Zitate entnehmen zu dürfen.

Im Interesse der Allgemeinverständlichkeit ist von jeder Anwendung von Mathematik Abstand genommen.

Dem Verlag gebührt bester Dank für die Bereitwilligkeit, meinem Wunsche entsprechend, das Bändchen durch die Bilder der Physiker zu schmücken, denen die folgenden Zeilen gewidmet sind.

Marburg i. H., im April 1910.



## Vorwort zur zweiten Auflage.

In dieser Auflage ist der Titel, im Einverständnis mit dem Verlag, in „Große Physiker“ geändert worden. Im Text wurden eine Anzahl Änderungen zum Zwecke genauerer oder richtigerer Fassung vorgenommen. Außerdem war es durch das Entgegenkommen des Verlages möglich, mehrfachen Wünschen der Kritik und meinem eigenen Wunsch entsprechend, noch das Lebensbild von Heinrich Herz in das Bändchen aufzunehmen.

Marburg i. H., Februar 1917.

## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Galileo Galilei . . . . .	1
II. Isaac Newton . . . . .	20
III. Christian Huygens . . . . .	47
IV. Michael Faraday . . . . .	62
V. Hermann von Helmholtz . . . . .	79
VI. Heinrich Herz . . . . .	104
Literatur . . . . .	115



## I. Galileo Galilei.

„Über einen sehr alten Gegenstand bringen wir eine ganz neue Wissenschaft.“

Mit diesen stolzen selbstbewußten Worten beginnt Galilei einen Abschnitt seines Hauptwerkes: „Untersuchungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend.“

Es ist keine Überhebung, die sich in diesen Worten ausdrückt. In der Tat ist dieses Werk Galileis die Grundlage der modernen Mechanik geworden. Die Gesetze des freien Falles und des Wurfs werden noch heute mit geringen Änderungen in den modernen Lehrbüchern der Physik und im Unterricht meist in der von Galilei angegebenen Form behandelt. Galilei ist der Vater der modernen Mechanik. Und doch — so groß die Verdienste Galileis um die Aufstellung der Bewegungsgesetze sind, seine Bedeutung reicht viel weiter. Nicht nur eine „neue Wissenschaft“ hat er gelehrt, wir müssen in ihm den Begründer der modernen Naturwissenschaften verehren. Er hat der Naturforschung die Wege gezeigt und geöffnet, auf denen sie wandeln muß, wenn sie mit Erfolg vorwärtsschreiten will.

Die Naturforschung vor Galilei war in einen kläglichen Tiefstand geraten, ja fast in eine vollkommene Stagnation; sie war erstickt von dem im ganzen Mittelalter herrschenden Autoritätsglauben, der jeden Fortschritt unmöglich machte. Als Naturwissenschaft wurde im wesentlichen das Studium und die Auslegung der von naturwissenschaftlichen Dingen handelnden Schriften der Alten bezeichnet, namentlich der zusammenfassenden Werke des Aristoteles. Das dort Niedergelegte zu kommentieren, zu lehren, möglichst vollständig im Unterricht an die nachfolgenden Generationen weiterzugeben, darin erblickte man die Aufgaben der Naturforscher. Was Aristoteles lehrte, wurde als feststehende Wahrheit hingenommen, an der zu zweifeln niemand dachte. Man trieb, um es etwas kraß auszudrücken, Aristotelesforschung, nicht Naturforschung. Wollte man sich über die



Gesetze des freien Falles orientieren, so dachte man nicht daran, die Natur selbst zu befragen, ein Galileexperiment zu machen, sondern man sah nach, was Aristoteles darüber lehrte, und gab sich damit zufrieden. Daß auf diese Weise kein Fortschritt möglich war, ist uns heutzutage selbstverständlich.

Ja, im Mittelalter ging man so weit, daß man selbst offenkundige Irrtümer in den Schriften des Aristoteles nur widerstrebend und ungern anerkannte oder gar noch mit allen möglichen Spitzfindigkeiten und dialektischen Kunststücken zu verteidigen suchte.

Das Verdienst Galileis liegt darin, daß er mit kühnem Mut und Selbstvertrauen diesen jeder freien Regung hinderlichen starren Autoritätsglauben, in dessen Bann die Naturwissenschaft erstarrt war, über den Haufen warf, das Experiment und die eigene Urteilskraft wieder in ihre Rechte einsetzte und so die Bahn für gedeihliche Weiterforschung wieder frei machte.

Am 18. Februar 1564, dem Todestag Michel Angelos, wurde Galileo Galilei in Pisa als ältestes Kind des florentinischen Adligen Vincenzo Galilei geboren, der sich durch ein Werk über Musikgeschichte verdienstlich gemacht hat. Leider fehlten dem Vater die Mittel, seinem Sohn, dessen Begabung bald erkannt wurde, ein freies Studium zu ermöglichen. Auf Anordnung des Vaters bezog der junge Galileo 1581 die Universität Pisa, um Medizin zu studieren. Er wandte jedoch bald dieser Wissenschaft, die der Vater als Brotstudium für ihn erwählt hatte, den Rücken, um sich ganz der Mathematik zu widmen, die ihn leidenschaftlich begeisterte. Es gelang schließlich, wenn auch erst nach einigen Kämpfen, von dem Vater die Zustimmung dazu zu erlangen, daß sein Sohn sich definitiv dem Studium der Mathematik zuwendete.

In jene Pisaner Studienzeit, in das Jahr 1583, wird die bekannte Erzählung versetzt, daß der junge Galileo während des Gottesdienstes an einer im Dom zu Pisa aufgehängten Ampel durch Vergleichung mit der Anzahl seiner Pulsschläge den Isochronismus der Pendelschwingungen gefunden haben soll, d. h. die Tatsache, daß die Schwingungsdauer eines Pendels nahezu unabhängig von der Schwingungsweite ist. Die ganze Erzählung ist wahrscheinlich frei erfunden; Galilei erwähnt selber nirgends etwas davon. Eingehende Studien der Schriften von Archimedes und Euklid veranlaßten Galilei zu eigenen Forschungen, deren Früchte zwei Abhandlungen sind, die seinen Na-



men bekannt machten. In der einen: „la Bilancetta“ stellt er das Verfahren von Archimedes zur Ermittlung des spezifischen Gewichtes, das nach den damals vorliegenden Berichten nur in etwas unflarer Weise in der Messung des verdrängten Volumens Wasser aus einem gefüllten Gefäß bestand, in der noch heute üblichen Form mittels des Auftriebes her. Die zweite befaßt sich mit der Schwerpunktsbestimmung von Körpern.

Auf Betreiben seines Gönners Guidubaldo dal Monte erhielt er im Jahre 1589, 25jährig, die mathematische Professur in Pisa. Das Gehalt war allerdings äußerst gering — es betrug etwa eine halbe Mark pro Tag —, aber es war doch eine Stelle nach seinem Wunsche. In die Zeit seiner Tätigkeit in Pisa fällt im Anschluß an das Studium der Werke von Philoponos und Benedetti die innerliche Loslösung Galileis von den Lehren des Aristoteles über den freien Fall und den Wurf, wie Aufzeichnungen Galileis aus jener Zeit beweisen. Öffentlich ist er jedoch damals noch nicht dagegen aufgetreten; die Erzählung, daß er durch Fallversuche vom Turm zu Pisa das gleichschnelle Fallen schwerer und leichter Körper gezeigt habe, ist wahrscheinlich unrichtig.

Nur 3 Jahre hatte Galilei die Stelle in Pisa inne. Seinem Freund dal Monte gelang es, ihm im Jahre 1592 die zwar auch nicht gut, aber doch besser besoldete Stelle als Professor der Mathematik in Padua zu verschaffen. 18 Jahre hat Galilei dort gewirkt. Es sind nach seiner eigenen Aussage die glücklichsten Jahre seines Lebens gewesen. Sie sind auch wissenschaftlich die ergiebigsten; es waren ja die Jahre der Vollkraft seines Lebens. Seine Lehrtätigkeit fand ungeheuren Anflang. Von allen Gegenden strömte ihm die wißbegierige Jugend zu. Schon seine Antrittsvorlesung soll großen Eindruck gemacht haben. Wenn wir richtig unterrichtet sind, mußte er seine Vorlesungen in einem etwa 1000 Personen fassenden Saal halten. Stand doch dem jungen Gelehrten, wie wir aus allen seinen Schriften ersehen, neben den umfassenden wissenschaftlichen Kenntnissen eine feine anmutige Dialektik zu Gebote.

Die letzten Jahre des Wirkens Galileis in Padua waren für ihn besonders folgenreich durch die Konstruktion des heute nach ihm benannten Fernrohres (1609) und die sich bald daran anschließenden astronomischen Entdeckungen, die ihm außerordentlichen Ruhm verschafften, innerlich für ihn dadurch so bedeutungsvoll wurden, daß



sie ihm die feste Überzeugung von der Richtigkeit der Copernikanischen Lehre gaben. Im Jahre 1608 hatte der Mittelburger Optiker Johann Lippershey das holländische Fernrohr erfunden. Auf die Kunde hiervon gelang es Galilei nach einigem Probieren, ein solches zusammenzustellen, und er benutzte es sofort zur Untersuchung der Gestirne, wobei er in kurzer Zeit die bedeutsamsten Entdeckungen machte, deren fast jede gegen die aristotelische und die kirchliche Lehre von der Unbeweglichkeit und Zentralstellung der Erde, dagegen durchaus für die von Galilei schon längere Zeit auch öffentlich in Vorträgen vertretene kopernikanische Weltanschauung sprach, wonach die Sonne als Zentrum der Welt anzusehen sei, während sich die Erde in doppelter Bewegung befindet, in Rotation um ihre eigene Achse und einer Jahresbewegung um die Sonne.

Es war nicht zu leugnen, daß alle Bewegungserscheinungen der Gestirne nach der ptolemäischen Anschauung erklärbar waren. Aber wie kompliziert waren die Hilfsmittel, mit denen dies gelang!

Die Erklärung der einfachen Bewegung der Fixsterne machte allerdings keine Schwierigkeit. Aber schon, um die Bewegung der Sonne verständlich zu machen, mußte man nach Hipparch eine besondere Annahme machen, daß nämlich die Erde nicht im Mittelpunkt der Sonnenkreisbahn, sondern exzentrisch steht. Nur so war die scheinbar ungleiche Geschwindigkeit der Sonne zu verschiedenen Jahreszeiten erklärlich. Noch größere Schwierigkeiten bot jedoch die Erklärung der Bewegung des Mondes und besonders diejenige der Planeten. Neben der Erscheinung der unregelmäßigen Geschwindigkeit, die wieder durch Annahme einer exzentrischen Kreisbahn gelöst wurde, war hier noch die merkwürdige Tatsache zu erklären, daß der Mond auf kurzen Strecken seiner Bahn bald langsamer, bald schneller wandert, die Planeten sogar ihre von Ost nach West gerichtete Bahngeschwindigkeit allmählich verringern, schließlich stillstehen und dann mit wachsender Geschwindigkeit eine rückläufige von West nach Ost gerichtete Bahn einschlagen, was sich dann periodisch wiederholt. Die Vereinbarung dieser komplizierten Bewegung mit der Lehre, daß die Erde stillsteht und die Gestirne nur Kreisbahnen von konstanter Geschwindigkeit beschreiben, gelang Ptolemäus durch Einführung der Epizykellehre. Danach sollte der Mond und die Planeten nicht auf einer einfachen Kreisbahn um die Erde sich bewegen, sondern sie bewegen sich ursprünglich auf einem an-



deren kleinen Kreise, dem Epizykel, dessen Mittelpunkt nun erst den großen exzentrischen Kreis um die feststehende Erde beschreibt.

Mit Hilfe dieser Epizykeltheorie gelang es schließlich, alle Bewegungserscheinungen der Gestirne vollständig zu erklären und mit der Annahme in Einklang zu bringen, daß die Erde eine im Welt-raum absolut feststehende Kugel sei, um die herum die Gestirne ihre Kreis- bez. ihre Epizykelbewegungen mit jeweils konstanter Geschwindigkeit ausführen. Dies war die ptolemäische bis auf Kopernikus im ganzen Mittelalter herrschende, durch Aristoteles bekräftigte, von der Kirche geheiligte Lehre des ptolemäischen Weltsystems.

Das ganze Mittelalter hindurch herrschte die ptolemäische Lehre, bis schließlich Nikolaus Kopernikus (1473—1543) den großen Schritt tat, mit ihr zu brechen und das heliozentrische Weltssystem aufzustellen. Wir wissen, daß Galilei schon in jungen Jahren durchaus der kopernikanischen Lehre zuneigte.

Im Jahre 1597 schreibt Galilei an Kepler: „Ich werde Ihr Werk mit um so größerem Interesse lesen, als ich seit einer Reihe von Jahren die kopernikanische Lehre angenommen, und ich habe aus ihr die Ursachen einer ganzen Reihe von natürlichen Wirkungen gezogen, die nach der gewöhnlichen Hypothese ganz unerklärlich waren. Ich habe eine große Anzahl von Beweisen und Beweisführungen aufgestellt, die ich noch nicht zu veröffentlichen wage. Ich fürchte das Schicksal des Kopernikus. Wenn er bei einigen wenigen sich unsterblichen Ruhm erworben, so ist er für eine Anzahl von Leuten, so groß ist die Menge der Dummköpfe, doch nur ein Gegenstand der Verachtung und des Spottes.“ Es gelang Kepler leider nicht, Galilei zur Veröffentlichung seiner Beweise zu bewegen.

Die Entdeckungen, die Galilei nach Erfindung des Fernrohres Schlag auf Schlag am Sternhimmel machte, waren nun aber für ihn und jeden Einsichtigen ebenso viele neue überzeugende Beweise für die kopernikanische Lehre. In betreff der Einzelheiten sei auf die Zusammenstellung der wissenschaftlichen Verdienste im folgenden Abschnitt verwiesen. Hervorgehoben sei nur als ganz besonders von Galilei für die neue Lehre benutztes Beweismittel die Entdeckung der vier Jupitermonde. Konnte doch das Jupitersystem als kleines Sonnensystem angesehen werden.

Die Fülle der Entdeckungen am Himmel mehrte unaufhörlich Galileis Ruhm. Es fand sich schließlich kein Hörsaal in Padua, der die



Sülle der Lernbegierigen fassen konnte. Der Rat der Republik Venedig, dem Galilei sein Fernrohr überreichte, beschloß, ihm sein Amt auf Lebenszeit mit einer Besoldung von 1000 Goldgulden zu verleihen. Trotzdem sehnte sich Galilei nach einer anderen Stellung, die mit weniger Lehrtätigkeit verknüpft war und ihm eine noch freiere Ausnützung seiner Zeit zu wissenschaftlicher Arbeit bot. Eine solche Stelle wurde ihm in ehrenvollster Weise von seinem engeren Vaterlande angeboten. Man trug ihm die Stelle als erster Mathematiker der Universität Pisa an, mit einer Bezahlung von 1000 Scudi und dem Titel „Erster Philosoph des Großherzogs“. Galilei trat diese Stelle am 12. Juli 1610 an; 18 Jahre hatte er seine Dienste der Universität Padua gewidmet, die wohl wußte, was sie an ihm verlor, und den Verlust des großen Gelehrten schwer empfand.

Die neue Stellung Galileis war in jeder Beziehung eine Ehrenstellung. Er brauchte nicht einmal seinen Wohnsitz in Pisa zu nehmen. Vorlesungen zu halten war er „berechtigt“, nicht „verpflichtet“. Und doch waren seine Freunde besorgt um sein weiteres Schicksal. Schon lange hatte die Inquisition mit wachsender Sorge und mit Unbehagen die Entdeckungen Galileis verfolgt, die mit den Lehren der Kirche absolut unvereinbar waren. Sie erblickte in ihm einen gefährlichen Gegner. Solange er sich jedoch in Padua auf dem Boden der freien Republik Venedig befand, die die Jesuiten vertrieben hatte und die freie Forschung tatkräftig schützen konnte, brauchte er die Kirche nicht zu fürchten. Diese Freiheit konnte ihm der Florentiner Hof nicht gewährleisten, der selbst in hohem Grade von der Kirche abhängig war. Trotzdem trat Galilei guten Mutes die neue ehrenvolle Stellung in Pisa an. Alles schien sich aufs beste anzulassen. Der Großherzog Cosimo II. war selbst aufs eifrigste für ihn besorgt; er gestattete ihm, den Herbst und Winter auf einem seiner Schlösser zuzubringen. Das Teleskop führte ihn in dieser Zeit zu zwei neuen überraschenden Entdeckungen, der Sichelgestalt der Venus und der Sonnenflecken, deren weitere Betrachtung ihn zur Auffindung der Rotation der Sonne um ihre Achse leitete. Nach der Sitte seiner Zeit veröffentlichte er diese Kunde in Form von Anagrammen, um sich die Priorität zu sichern und doch zunächst die Entdeckungen in Ruhe für sich weiter verfolgen zu können.

So stand Galilei auf der Höhe seines Ruhmes. Großes hatte er erreicht. Überall wurde er verehrt und bewundert. Mächtig hatten



seine Entdeckungen eingegriffen in die Vorstellungen vom Universum. Aber schon regten sich die Feinde, die er eben hierdurch sich im stillen geschaffen hatte. Das Inquisitionstribunal, jene Vereinigung, deren Ziel es war, jede Abweichung von den Lehren der Kirche aufzuspüren, zu verfolgen und zu unterdrücken, hatte schon geraume Zeit ihr Augenmerk auf Galilei gerichtet, wenn dieser sich auch noch nirgends direkt gegen die ptolemäische Lehre ausgesprochen hatte, sondern seine Entdeckungen für sich selber reden ließ.

Trotzdem mußte es Galilei als unerträglichen Zwang empfinden, seine Ansicht nicht ganz ungehindert aussprechen zu dürfen. So wagte er denn jetzt, im Vertrauen auf seine geachtete Stellung und auf die mächtige Unterstützung durch seinen fürstlichen Gönner, einen großen Schritt, indem er im Frühjahr 1611 selbst nach Rom ging, in der Zuversicht, daß es ihm gelingen würde, die kirchliche Oberbehörde seinen Entdeckungen und seinen wissenschaftlichen Bestrebungen günstig zu stimmen. Er hegte wohl auch die stolze Hoffnung, dadurch nicht nur für sich, sondern für die ganze astronomische Wissenschaft, ja für die ganze Kultur freie Bahn zu ungehinderter, durch keine Autorität gehemmter Forschung zu schaffen. Ein glänzender Empfang wurde ihm in Rom zuteil. Eine Sanktion der kopernikanischen Lehre seitens der obersten Kirchenbehörde, die ihm wohl vorgeschwebt hatte, erlangte er aber nicht. Nach seiner Rückkehr fragte er direkt bei dem Kardinal Conti an, welches denn nun das bestimmte Urteil der Kirche über die ptolemäische und die kopernikanische Lehre sei. Die Antwort fiel derart gewunden und unbestimmt aus, daß aus ihr alles herausgelesen werden konnte, ließ aber doch durchblicken, daß für die Kirche die wörtliche Auslegung der Schrift maßgebend sein müsse. Galilei hatte also durch seinen Besuch in Rom nichts gewonnen. Durch eigene Unvorsichtigkeit und Hitzigkeit zog er sich vielmehr die heftige Gegnerschaft der Jesuiten zu, indem er mit dem Jesuitenpater Scheiner in betreff der Entdeckung der Sonnenflecken sich in einen, wie es scheint, von seiner Seite nicht immer ganz einwandfrei geführten Streit einließ, was ihm natürlich die überaus gefährliche Feindschaft des ganzen Jesuitenkollegiums eintrug.

Immer zahlreicher wurden nun die teils lauten, teils geheimen Angriffe gegen Galilei wegen Verletzung der heiligen Schrift. Als er erfuhr, daß selbst am toscanischen Hof die Intrigen gegen ihn anfangen, präzisierete er in einem an einen Freund gerichteten, in Wahr-



heit für die Öffentlichkeit bestimmten, sehr vorsichtig abgefaßten Brief seine Ansicht. Der wichtigste Satz dieses Briefes lautet: „Da die Bibel, wiewohl vom Heiligen Geiste eingegeben, aus den angeführten Gründen an vielen Stellen Auslegungen, die sich vom Wortlaut entfernen, zuläßt, und da wir nicht mit Sicherheit behaupten können, daß alle Ausleger von Gott inspiriert seien, so glaube ich, man würde flug handeln, wenn man niemand gestattete, Bibelstellen dazu zu verwenden und gewissermaßen zu nötigen, die Wahrheit irgendwelcher naturwissenschaftlichen Konklusionen zu stützen, von denen später die Beobachtung und zwingende Gründe uns das Gegenteil lehren könnten. Und wer wird dem menschlichen Geiste Schranken ziehen wollen?“ Dieser Brief hatte jedoch keineswegs die gewünschte Wirkung. Im Gefühl der Überlegenheit reizte Galilei seine Gegner durch spöttische Nichtachtung, was ihm schwer schaden sollte. Einer derselben, Niccolo Lorini, reichte 1614 beim Inquisitionsgerichtshof eine förmliche Denunziation gegen ihn ein, die allerdings ergebnislos verlief. Die Inquisition war nun aber unermüdlich geschäftig und ging energisch gegen die kopernikanische Lehre vor. Im Jahre 1616 legte sie sämtlichen Theologen des heiligen Offiziums folgende zwei Thesen zur Begutachtung vor: 1. Die Sonne ist der Mittelpunkt der Welt und darum unbeweglich; 2. die Erde ist nicht der Mittelpunkt der Welt und nicht unbeweglich, sondern sie bewegt sich täglich um sich selbst.

Der Entscheid der Kommission war: „Behaupten, die Sonne stehe unbeweglich im Zentrum der Welt, ist absurd, philosophisch falsch und förmlich ketzerisch, weil ausdrücklich der Heiligen Schrift zuwider; behaupten, die Erde stehe nicht im Zentrum der Welt, sei nicht unbeweglich, sondern habe sogar eine tägliche Rotationsbewegung, ist absurd, philosophisch falsch und zum mindesten ein irriger Glaube.“

Daraufhin erging ein Dekret des Indexausschusses, wonach die Schriften des Kopernikus zu suspendieren seien, bis sie verbessert wären... und ferner alle Bücher, die dieselbe Lehre vortrügen, zu verbieten seien. Galileis Schriften waren zwar nicht ausdrücklich genannt; man begnügte sich damit, ihm die zulässigen Grenzen deutlich gezeigt zu haben. Man wählte dazu die Form, daß der Kardinal Bellarmin ihm, nachdem er sich auf Befehl des Großherzogs wieder nach Florenz zurückbegeben hatte, darüber ein Schriftstück



zusandte, in welchem er bestätigte, daß Galilei von der Erklärung der Kongregation des Index Kenntnis genommen habe.

Danach wäre also eine offizielle Verwarnung überhaupt unterblieben. Damit ist nicht im Einklang, daß in dem verhängnisvollen später im Jahre 1632 gegen Galilei angestregten Inquisitionsprozeß ein Dokument aus dem Jahre 1616 folgenden Inhaltes eine ganz wesentliche Rolle spielt: „In der gewöhnlichen Residenz des Herrn Kardinals Bellarmin hat der Kardinal, nachdem genannter Galilei vorgeladen und vor Se. Eminenz erschienen war, vorgeannten Galilei ermahnt wegen Irrtums obengenannter Meinung, und daß er sie aufgeben möge.“ Über die Echtheit des Dokuments, das 1632 so wichtig geworden ist, hat sich ein langer Streit entsponnen. Eine sichere Entscheidung ist nicht möglich gewesen.

Zunächst kam nun für Galilei eine Zeit verhältnismäßiger Ruhe; er setzte seine Studien und Forschungen ziemlich in der bisherigen Weise fort und baute die kopernikanische Lehre unangefochten aus; ja, das Geschick schien ihm sogar besonders günstig gesinnt zu sein. Im Jahre 1623 wurde der ihm von früher her sehr gewogene Kardinal Maffeo Barberini, der ihn sogar in einem Gedicht besungen hatte, zum Papste erwählt. Bei einer kurz darauf stattfindenden Begegnung der beiden Männer in Rom versicherte ihn der Träger der Tiara, Urban VII., ausdrücklich seines Wohlwollens.

Galilei schlug nun auch daraufhin, man muß wohl sagen, zum mindesten unvorsichtigerweise, die Verwarnung von 1616 völlig in den Wind, trotzdem er diese damals ohne Widerspruch hingenommen und sich damit stillschweigend zur Beachtung der Beschlüsse der Indexkongregation unterworfen hatte. Handelte er schon damit, daß er fortfuhr, die kopernikanische Weltanschauung weiter zu lehren, gegen sein gegebenes Versprechen, so verleitete ihn teils sein Gefühl der Sicherheit, teils wohl seine Kampfnatur, zu einem sehr gefährlichen Schritt, der denn auch sein Unglück besiegelte. Er führte nämlich seinen schon lange gehegten Plan aus, ein seine gesamten kosmischen Studien zusammenfassendes Werk zu schreiben, in dem vornehmlich auch seine Ansichten über die beiden Weltssysteme auseinandergesetzt werden sollten. Natürlich mußte er dabei in erster Linie darauf bedacht sein, der Schrift eine Form zu geben, die für seine Gegner keinen Angriffspunkt und keine Handhabe zu einem Einschreiten der Kirche gegen ihn bieten konnte. Als solche wählte er die Dialogform. Der



Titel der Schrift, die ungeheures Aufsehen machte, war: „Dialog über die beiden hervorragenden Weltssysteme.“ Er läßt darin zwei Vertreter der kopernikanischen Lehre, Salviati und Sagredo, die Namen zweier seiner Freunde, und einen Vertreter des ptolemäischen Weltsystems, Simplicio, über die beiden Systeme disputieren. Es versteht sich, daß Simplicio stets von den beiden andern in die Enge getrieben und mit seiner Ansicht ad absurdum geführt wird. Das ganze Werk ist mit der feinsten Ironie geschrieben und eine scharfe Satire gegen die Aristoteliker. Galilei war sich der Gefährlichkeit seiner Schrift wohl bewußt und wandte alle Vorsichtsmaßregeln an, um sich zuerst die Druckerlaubnis sowohl von der kirchlichen wie den weltlichen Behörden zu verschaffen, was ihm auch gelang. Dennoch hätte er sich sagen müssen, daß er mit Veröffentlichung dieser Schrift alle Brücken hinter sich verbrannt hatte. Die schrecklichen Folgen blieben denn auch nicht aus. Der Papst, der sich in der Person des Simplicio verhöhnt glaubte, ordnete sofort eine Untersuchung der Schrift an. Allerdings ist es nicht wahrscheinlich, daß Galilei wirklich mit Simplicio einen einfältigen Menschen bezeichnen wollte. Naheliegender ist es wohl, anzunehmen, daß er dabei an den Aristoteleskommentator Simplicio gedacht hat. Auch kann man nicht sagen, daß sich jener Simplicio in der Schrift wirklich einfältig benimmt; er vertritt eben die Lehren der Aristoteliker. Wie dem auch sei, der Papst fühlte sich entweder selbst beleidigt, oder er folgte den Eingebungen der auf Galilei ja seit jener Affäre mit Scheiner erzürnten Jesuiten. Genug, die von Urban eingesetzte Kommission verbot die Schrift, und Galilei wurde durch den Inquisitor von Florenz nach Rom vorgeladen, trotz lebhaften Protestes seitens des Großherzogs von Toskana. Der 69jährige Greis mußte mitten im Winter die beschwerliche Reise nach Rom antreten. Nach mehrmaligen Verhören wurde ihm am 22. Juni 1633 im Hauptsaal des Predigerklosters Santa Maria sopra Minerva in der Plenarsitzung des Heiligen Offiziums das Urteil verlesen, das er stehend anhören mußte. Seine Schrift wurde verboten, er selbst verurteilt zu „förmlichem Kerker bei diesem heiligen Offizium für eine nach unserem Ermessen zu bestimmende Zeitdauer . . . uns vorbehaltend, die genannten Strafen und Bußen zu ermäßigen, umzuändern, ganz oder teilweise aufzuheben.“

Knieend mußte dann Galilei die Abschwörungsformel verlesen. Die Legende legt ihm hiernach noch die stolzen Worte in den Mund:



„Eppur si muove“ („Und sie bewegt sich doch“). Galilei hat sie nachweislich nicht gesprochen. Überhaupt zeigte er sich im Verlauf des ganzen Prozesses als kampfes müde, nach Ruhe und Frieden sich sehrend und in tiefer Demut bereit, alles zu tun, was man von ihm forderte. Er bekenne sich keineswegs zu dem kopernikanischen Welt-system; ja er erbot sich sogar, seiner Schrift noch zwei Dialoge beizufügen, in denen er alle für dieses sprechenden Gründe eingehend zu widerlegen versprach. Wer möchte dem gebrechlichen Greis dieses Verhalten verdenken! Das Schicksal Giordano Brunos stand ihm als furchtbare Mahnung vor Augen!

Nach Beendigung des Prozesses wurde ihm erlaubt, seinen Aufenthalt in seiner Villa in Arcetri bei Florenz zu nehmen, wo er in gelassener Ruhe seine letzten Lebensjahre zubrachte. Aber noch war das Maß seiner Leiden nicht voll. Seine Tochter Virginia, die zärtlich an ihm hing und ihn in den schweren Monaten seines Prozesses liebevoll mit Trost und heiterem Zuspruch gestützt hatte, starb kurze Zeit nach dem Wiedersehen. Damit war seine Lebensfreude dahin. Er flammerte sich nun an seine geliebte Wissenschaft. In diesen letzten Jahren seines Lebens beschenkte er die Welt mit seinem schönsten, reifsten und bedeutungsvollsten Werk, den eingangs genannten „Untersuchungen . . .“

Das grausame Schicksal wollte nicht, daß er dieses Werk noch mit eigenen Augen sehen sollte. Als die ersten Druckbogen kamen, war er an beiden Augen erblindet. Nicht ohne tiefe Erschütterung kann man den Brief (vom 2. Februar 1638) lesen, in dem er dieses Unglück seinem Freunde Diodati mitteilt: „In Beantwortung Eures mir sehr angenehmen Schreibens vom 20. November teile ich Euch bezüglich Eurer Nachfrage um meine Gesundheit mit, daß zwar mein Körper einen etwas besseren Kräftezustand als in der letzten Zeit wiedererlangt hat, aber ach! verehrter Herr, Galilei, Euer ergebener Freund und Diener, ist seit einem Monate völlig und unheilbar blind; so zwar, daß dieser Himmel, diese Erde, dieses Weltall, welche ich mit meinen merkwürdigen Beobachtungen und klaren Darlegungen hundert-, ja tausendfach über die von den Gelehrten aller früheren Jahrhunderte allgemein angenommenen Grenzen erweitert habe, nun für mich auf einen so engen Raum zusammengedrumpft sind, daß derselbe nicht über jenen hinausreicht, den mein Körper einnimmt.“



Sein Geist blieb bis an das Ende klar und regsam, so jammervoll der Leib verfiel. Seine treuen Schüler Viviani und Torricelli umgaben ihn in den letzten Monaten beständig. In ihrem Beisein verschied der große Mann, dessen Geist die ganze Welt umspannte, am 8. Januar 1642 im 78. Jahre seines Lebens.

Noch dem Tode zeigte die Kirche ihren Haß. Sie verbot, ihm ein Grabmal zu setzen sowie ihm eine Leichenrede zu halten. Später hat der florentinische Staat in würdevoller Weise das Gedächtnis seines großen Sohnes geehrt. Die sterblichen Überreste Galileis wurden in dem prächtigen Mausoleum der Kirche „Zum heiligen Kreuz“ feierlich bestattet. Im Museum der Physik und Naturgeschichte, welches seine Originalinstrumente unter Glas enthält, wurde sein Standbild aufgestellt.

Es ist eine Ironie des Schicksals, daß aus der ungeheuren von Galilei in seinem langen arbeits- und erfolgreichen Leben in Summa geschaffenen und uns hinterlassenen Geistesarbeit derjenige Teil, um dessentwillen er so viel leiden mußte, von uns heute gar nicht mehr als seine Hauptleistung betrachtet wird, so hoch man natürlich auch seine Leistungen auf astronomischem Gebiet schätzen muß. Der Gipfel seines Schaffens, das Wertvollste seiner ganzen Tätigkeit sehen wir heute darin, daß Galilei die theoretische Physik in ihrer heutigen Gestalt geschaffen hat durch seine noch heute vorbildliche Untersuchung des freien Falls und des Wurfes. Dabei ist es, wie schon hervorgehoben, vor allem die von ihm hierbei befolgte Methode der Forschung, die er in bewußtem Gegensatz zu der in seiner Zeit herrschenden bereits charakterisierten Art, Naturforschung an Hand und am Gängelband der Aristotelischen Werke zu treiben, sich selbst ausbildete und gleich zu einer solchen Vollendung erhob, daß diese Untersuchungen bis auf unsere Zeit als Musterwerke theoretisch-physikalischer Forschung dastehen. Um dieser Schriften willen wäre er niemals in so schweren Konflikt mit der Inquisition geraten. Bei diesen Untersuchungen hatte er allerdings die heftige Gegnerschaft der orthodoxen Aristoteleschule, mit deren Arbeitsmethode er sich in Widerspruch setzte.

Die Ansichten der Aristoteliker über den freien Fall waren etwa folgende: Es wird zunächst ein Unterschied zwischen schweren und leichten Körpern gemacht. Jeder Körper sucht seinen ihm zukommenden Ort. Die schweren unten, die leichten oben; die schweren



Körper sind demnach der Erdschwere unterworfen, die leichten nicht. Es wird gelehrt, daß schwere Körper schneller fallen als leichtere. „Das Schwere und Erdige bewegt sich abwärts, das Feuer, das Luftige aufwärts, jedes eben nach dem Platz, den ihm die Vorsehung, die Weltordnung zugewiesen hat. Die Luft ist das treibende Prinzip bei der Bewegung. Im luftleeren Raum ist die Bewegung unmöglich, da der geschleuderte Körper, wenn das Fortstoßende aufhört, denselben zu berühren, entweder durch Gegendruck, wie einige sagen, bewegt wird, oder deswegen, weil die fortgestoßene Luft wieder in einer Bewegung fortstößt, welche schneller ist als die Raumbewegung des fortgestoßenen Körpers, in welcher er an seinen ihm „häuslichen“ Ort hinbewegt wird.“ Man sieht, es werden auf Grund einiger ganz weniger alltäglicher Erfahrungen sofort Spekulationen angestellt über das „Warum“ und die letzten Ursachen. Direkt unrichtige Sätze, wie die verschiedene Fallgeschwindigkeit verschieden schwerer Körper, werden ohne Prüfung benutzt. Physik und Metaphysik gehen durcheinander, ihre Grenzen sind völlig verwischt.

Mit dieser Art der Naturforschung hat Galilei vollständig gebrochen. Er zeigt, wie viel fruchtbarer es ist, nicht gleich nach den letzten Ursachen zu fragen, nicht nach dem „Warum“ der Erscheinungen zu fragen, sondern nach dem „Wie“. Die Gesetze der Naturvorgänge sind zunächst zu erforschen, die Art ihres Ablaufes, das ist die erste und vornehmste Aufgabe der Naturwissenschaft. Darin liegen auch ihre Grenzen, über die sie nicht hinausgehen darf, wenn sie nicht den Boden verlieren will. Die reinliche Scheidung von Physik und Metaphysik, das ist das große Verdienst Galileis. Die Gesetze der Einzelercheinungen und ihre Beziehungen zueinander zu erforschen, ist die Aufgabe der Naturforschung, nicht aber die Auffindung ihrer metaphysischen Ursachen.

Mit diesem Forschungsprinzip tritt er an die Untersuchung der Bewegungsgesetze heran, und es liefert ihm sofort die großartigsten Erfolge. Er untersucht die Fallgeschwindigkeit verschieden schwerer Körper. Er weist nach, daß entgegen der Aristotelischen Lehre alle Körper gleich schnell fallen. Daß die Geschwindigkeit beim freien Fall stets wächst, war natürlich schon allgemein vor Galilei bekannt. Galilei bleibt nun aber nicht bei dieser qualitativen Erkenntnis, die den Aristotelikern genügte, stehen, sondern er sucht nun durch das Experiment das Gesetz, die mathematisch hier herrschende Beziehung



zu ergründen. Dazu geht er in der heute für solche Untersuchungen vorbildlichen Weise vor, daß er sich zunächst fragt, wie die Beziehung wohl sein könnte, dann aus den verschiedenen möglichen Annahmen die Konsequenzen zieht und nun durch den Versuch ermittelt, welche dieser Konsequenzen mit der Erfahrung übereinstimmt, welche seiner Annahmen also die richtige war. Lange hat er sich bemüht, bis er schließlich das wahre Gesetz fand. So prüfte er zunächst, ob vielleicht die Geschwindigkeit proportional dem durchlaufenen Wege sei, was ja durchaus möglich wäre. Er fand schließlich, daß diese Annahme zu Widersprüchen mit der Erfahrung führt. Darauf geht er zu einer anderen möglichen Annahme über, daß nämlich die Geschwindigkeit proportional der Zeit ist, oder anders ausgedrückt, daß in gleichen Zeiten die Geschwindigkeit immer gleichen Zuwachs erfährt. Aus dieser Annahme folgt eine bestimmte Beziehung zwischen Fallzeit und Fallweg, daß sich nämlich die Fallwege verhalten wie die Quadrate der Fallzeiten. Diese Beziehung prüft nun Galilei experimentell. Zu diesem Zweck verändert er sich die Bewegung des freien Falles dadurch, daß er an ihrer Stelle den viel langsameren und darum besser beobachtbaren Fall über die schiefe Ebene untersucht. Um nun aus der Beschleunigung auf der schiefen Ebene die Beschleunigung beim freien Fall abzuleiten, macht er die Bemerkung, daß die Endgeschwindigkeit nach Durchlaufen derselben Falltiefe, d. h. der Länge des Lotes vom Anfangspunkt des Falles nach der durch den Endpunkt gehenden Horizontalebene, dieselbe ist, unabhängig von der Neigung der schiefen Ebene. Es ist leicht ersichtlich, daß bei Nichtigkeit dieses Satzes durch Umkehrung der abwärts gerichteten Bewegung in eine aufwärts gerichtete ein Körper von selbst nur durch sein eigenes Gewicht in größere Höhe gebracht werden könnte, was nicht mit der Tatsache verträglich ist, daß schwere Körper von selbst nur sinken, nicht steigen. Die Art, wie Galilei diesen Satz durch einen Versuch illustriert, ist so charakteristisch, daß sie hier wiedergegeben werden möge. Er geht aus von der Erfahrung, daß ein Pendel ebenso hoch steigt, wie es gefallen ist. Der hierbei von dem Pendel beschriebene Kreishbogen läßt sich auffassen als eine große Reihe aufeinanderfolgender schiefer Ebenen von wechselnder Neigung. Nun zeigt Galilei, daß das Pendel zu derselben Höhe steigt, von der es losgelassen ist, auch wenn man es zwingt, seine Bahn zu verändern. Man bewirkt dies in einfachster Weise, indem man in dem Moment, in dem das Pendel durch die



Gleichgewichtslage schwingt, durch einen Pflock die Bewegung des Fadens an einer bestimmten Stelle hemmt, so daß nun nur das unterhalb dieses Pflockes befindliche Fadenstück weitererschwingen kann, und nun natürlich das Pendel auf einem ganz anderen Kreisbogen wie zuerst weitererschwingt. Der Versuch ergibt, daß das Pendel stets wieder bis zu derselben Höhe (Horizontalebene) ansteigt, ganz unabhängig davon, an welcher Stelle der Pflock eingesteckt war (wenn nur die schwingende Fadenlänge mindestens gleich der halben Falltiefe gewählt wird).

Aus diesem frappierenden Versuch schließt er die Richtigkeit seiner Behauptung. Denn die Neigung der verschiedenen hierbei sukzessive durchlaufenen Ebenen ist ja hier bei jedem Versuch eine andere. Da die erreichte Höhe stets dieselbe ist, schließt er, daß die Fallgeschwindigkeit in derselben Höhe unabhängig von der Neigung der Ebene ist. Die Fallzeiten müssen sich also wie die Länge zur Höhe, die Beschleunigungen dagegen wie die Höhe zur Länge der schiefen Ebene verhalten. Beim Fall über die schiefe Ebene ist also auch eine konstante, nur gegenüber derjenigen beim freien Fall in ansehnlichem Verhältnis verkleinerte Beschleunigung vorhanden.

Auf diese Weise rechtfertigt er also die Benutzung der schiefen Ebene. Danach schreitet er nun zur Prüfung der aus seiner Annahme, daß die Geschwindigkeit der Fallzeit proportional ist, folgenden Konsequenz, daß die Fallräume sich verhalten wie die Quadrate der Fallzeiten. Sinnreich ist nun hier wieder die Art der Zeitmessung; Uhren gab es ja damals noch nicht. Er benutzt nämlich als Zeitmaß die aus der engen Öffnung eines Gefäßes ausfließende Wassermenge. Die genannte Beziehung zwischen Fallräumen und Fallzeiten findet sich dabei vollkommen bestätigt.

So sind nun die Grundgesetze des freien Falles aufgefunden; aus ihnen folgen dann, wie Galilei zeigt, eine große Zahl von anderen interessanten Eigenschaften des freien Falles, die heute noch zum mindesten als Übungsaufgaben einen großen Wert haben.

Galilei hat also nachgewiesen, daß das Charakteristische der Fallbewegung die konstante zeitliche Zunahme der Geschwindigkeit ist. Damit ist unendlich mehr geleistet, als wenn er über die Ursache des Fallens im allgemeinen spekuliert hätte. Etwas derartiges hat er auch ganz vermieden. Die Zunahme der Geschwindigkeit in der Zeiteinheit heißt nach Galilei Beschleunigung. Das Charakteristische der



Bewegung beim freien Fall ist also eine konstante, für alle Körper, schwere wie leichte, gleiche Beschleunigung. Man nennt daher mit Recht diese wichtige Konstante, die Beschleunigung eines freifallenden Körpers, die Galileische Konstante. Galilei fand nun ferner, daß die Größe dieser Beschleunigung um so kleiner ist, je mehr sich die Neigung der schiefen Ebene der Horizontalen nähert. Im Grenzfall, bei ganz horizontaler Ebene wird die Beschleunigung null, die Geschwindigkeit erhält keinen Zuwachs, d. h. sie bleibt ungeändert. Auf horizontaler Bahn behält also ein Körper eine ihm einmal erteilte Geschwindigkeit in alle Ewigkeit bei. Galilei hat so den Satz bewiesen, den man später als Gesetz der Trägheit bezeichnet hat. Einen besonderen Wert hat Galilei nicht darauf gelegt, er hat ihn kaum vor anderen minder wichtigen Konsequenzen hervorgehoben. Stillschweigend benutzt er aber den Satz häufig, so daß man Galilei wohl mit Recht als Entdecker dieses Fundamentalsatzes bezeichnen kann, wenn er ihn auch sozusagen nur nebenbei aufstellt und erst andere nach ihm ihn als besonderes Prinzip aufstellen, namentlich erst Newton seine volle Bedeutung für die ganze Mechanik hervorgehoben hat.

Sofern man nun von dem Gedanken ausgeht, daß der freie Fall dadurch hervorgebracht ist, daß die Erde ständig die Körper ihrem Mittelpunkt zu nähern sucht, als wenn in ihm ein Mensch mit Muskelkraft sich befinde, der die Körper mit dieser Kraft anzieht, spricht man davon, daß die Erde eine konstante Anziehungskraft ausübt; es ist also nach dem Galileischen Befund als Maß der Kraft die Größe der Beschleunigung zu setzen. Auf diese Weise ist Galilei der Begründer des heutigen Kraftbegriffes. Man darf ja nicht etwa jetzt so schließen: Die Erdanziehung ist eine konstante Kraft, folglich bringt sie eine Bewegung mit konstanter Beschleunigung hervor. Das würde mindestens eine gänzlich verkehrte Ausdrucksweise sein.<sup>1)</sup> Die Erde wirkt in der Richtung nach ihrem Mittelpunkt anziehend. Bewegt sich ein Körper auf horizontaler Bahn, so unterliegt er also der Einwirkung der Erde überhaupt nicht, es findet keine Beschleunigung statt, die Geschwindigkeit bleibt konstant: wieder das Gesetz der Trägheit.

Spricht Galilei das Gesetz auch nicht als Prinzip aus — es folgt ja, wie wir sehen, ganz selbstverständlich aus dem Vorhergehenden —, so wendet er es doch weiterhin an, wenn er dazu übergeht, die Wurf-

1) Siehe hierüber die lichtvollen Auseinandersetzungen in Mach, *Mechanik*, 6. Auflage, Leipzig 1908. S. 140 ff.



bahn zu bestimmen. Er zeigt, daß sie stets eine Parabel ist. Dazu ist aber noch ein neues Prinzip erforderlich, nämlich, wie wir heute sagen, das Prinzip des Parallelogramms der Geschwindigkeiten, daß ein Körper, der gleichzeitig zwei Geschwindigkeiten unterworfen ist, seine tatsächliche Bewegung in der Diagonale des aus den beiden Einzelgeschwindigkeiten gebildeten Parallelogramms ausführt, daß also, wie man auch sagen kann, beide Geschwindigkeiten ganz unabhängig voneinander auf den Körper wirken; dieser gelangt dahin, wohin er auch gekommen wäre, wenn man ihn erst nur der einen und darauf nur der anderen Geschwindigkeit unterworfen hätte.

Vor Galilei hatte man die wunderlichsten Vorstellungen über die Wurfbahn.<sup>1)</sup> Nach einem Autor (Santbach 1561) sollte z. B. ein Geschloß bis zur Erschöpfung seiner Geschwindigkeit geradlinig weiterfliegen und dann vertikal herabfallen.

Die sämtlichen bisher genannten Untersuchungen von Galilei sind von ihm zusammengestellt in seinen schon genannten „Unterredungen und mathematischen Demonstrationen“, die er als 70-jähriger Greis nach dem unglücklichen Ende des Inquisitionsprozesses in der Verbannung schrieb. Das Buch ist wieder wie der Dialog über die beiden Weltssysteme in Form eines Dialoges zwischen Salviati, Sagredo und dem Aristoteliker Simplicio geschrieben. Das ganze Gespräch, das die verschiedensten Fragen der Mechanik behandelt, ist auf 6 Tage verteilt. Bei weitem der schönste und inhaltreichste Abschnitt ist der den dritten und vierten Tag enthaltende Teil, in dem eben die neue Lehre vom freien Fall und Wurf gegeben wird.

Es liegt eine wunderbare abgeklärte Ruhe über dieser Schrift. An jeder Zeile merkt man, daß ein Meister sie geschrieben hat, der das Ganze vollständig beherrscht; gelassen und sicher wird das stolze Gebäude von Grund aus in klarer Disposition aufgebaut. Jeder neue Schritt, jeder neue Satz wird sorgfältig vorbereitet. Ja, Galilei sucht geradezu nach etwa noch unklar bleibenden Punkten und bespricht ausführlich durch den Mund des Salviati, unter dem er sich natürlich selbst versteht, die Zweifel, die etwa ausgesprochen werden könnten, und die er dem Sagredo bez. dem Aristoteliker Simplicio in den Mund legt. Besonders sei z. B. hingewiesen auf seine ausführliche Erörterung einiger paradoxer Schlüsse, die man aus seinen Sätzen ziehen

1) Vgl. darüber z. B. Mach, l. c. S. 154.



könnte. Wenn z. B. die Fallgeschwindigkeit der Fallzeit proportional ist, so wäre sie also am Anfang direkt null, d. h. der Körper könnte anscheinend überhaupt nicht in Bewegung geraten. Oder auch der Einwand: wenn die Wurfbahn eine Parabel ist, deren Achse durch den Erdmittelpunkt geht, so würde sich der Körper ja schließlich immer mehr vom Erdmittelpunkte entfernen, was doch absurd ist, u. dgl. m.

Zu allem ist der Stil von einer Feinheit und Anmut, die dem Buch neben strengster Wissenschaftlichkeit einen nicht geringen literarischen Wert verleiht. Man kann es als eines der besten in gutem Sinne populärwissenschaftlichen Bücher bezeichnen. Selbst wenn das Buch nur bereits Bekanntes enthielte, wäre es eine außerordentliche Leistung. Speziell von dem dritten und vierten Tage sagt Lagrange: „Es gehört ein außerordentliches Genie dazu, sie zu verfassen, man werde dieselben nie genug bewundern können.“<sup>1)</sup>

Nicht in gleicher Weise grundlegend sind der erste und zweite sowie der fünfte und sechste Tag der „Unterredungen“; sie haben auf den Gang der Wissenschaft so gut wie keinen Einfluß gehabt. Sie enthalten auch mancherlei Irrtümer; stets verrät sich aber der große Geist, der sie geschrieben hat, selbst da, wo er geirrt hat. Jedenfalls enthalten sie eine Menge der feinsinnigsten Bemerkungen. Sie handeln wesentlich von der Festigkeit und vom Stoß. Es werden u. a. z. B. aus geometrischen Sätzen Folgerungen über die Festigkeit von Balken und weiter die Widerstandskraft der Knochen von Individuen sehr ungleicher Größe gezogen. Es ergibt sich, daß die Festigkeit von Knochen lange nicht in demselben Verhältnis wächst wie das Gesamtgewicht der Organismen.

Auf dem Gebiete der Mechanik ist, wie wir sehen, Galilei der Begründer der rationellen Dynamik, der Bewegungslehre. Nicht geringe Verdienste aber hat er sich in der Statik, der Lehre vom Gleichgewicht erworben, indem er das Hauptgesetz der Statik, das sog. Prinzip der virtuellen Verschiebungen, das von Stevin bereits entdeckt war, in seiner großen Bedeutung erkannt und angewendet hat; so in dem Falle einer Last auf einer schiefen Ebene, auf das Schwimmen von Körpern auf einer Flüssigkeit, auf das Gleichgewicht der Flüssigkeit in kommunizierenden Röhren.

Es ist das Prinzip, daß ein mechanisches System im Gleichgewicht

1) Vgl. Ostwalds Klassiker Nr. 24 S. 125.



ist, wenn bei einer kleinen mit den mechanischen Bedingungen des Systems verträglichen Verschiebung die Summe aller an und von dem System geleisteten Arbeiten null ist, d. h. die von den wirkenden Kräften geleistete Arbeit genau gleich ist der gegen die wirkenden Kräfte geleisteten Arbeit.

Noch manche andere wichtige Anregung und Förderung verdankt die Physik Galilei. Er hat zuerst einen Apparat zur Messung der Temperatur, ein Thermoskop, konstruiert; es war eine Art Luftthermometer. Er verfaßte ferner eine Abhandlung über den Bologneser Leuchtstein. In seiner letzten Lebenszeit war er mit der Idee, das Pendel zur Regulierung der Räderuhren zu benutzen, beschäftigt und hat sogar ein Modell einer Pendeluhr ausführen lassen. Die Kenntnis von der Bewegung des Pendels hatte er ja selbst aufs intensivste gefördert, indem er den Isochronismus der Pendelschwingungen entdeckte und ferner zeigte, daß die Schwingungsdauer des Pendels proportional der Quadratwurzel der Pendellänge ist.

Eine zunächst physikalische Erfindung war ja auch die des Fernrohrs, das ihm, so primitiv naturgemäß die ersten von ihm angefertigten Exemplare sein mußten, zu seinen bedeutenden Entdeckungen am Sternhimmel sowie überhaupt zu intensiver Beschäftigung mit der Astronomie führte. Es ist bereits mitgeteilt, daß er sich ein Fernrohr auf die bloße Kunde von dessen Erfindung selbst ausdachte und konstruierte. Im wesentlichen besteht die von ihm angewandte, heute nach ihm Galileisches Fernrohr benannte Form aus einer dem Objekt zugewandten Konverglinse. Bevor diese ein reelles Bild des betrachteten Gegenstandes entwirft, werden die Strahlen durch eine Konkavlinse zerstreut, und es entsteht ein virtuelles aufrechtes Bild. Die Anordnung ist dieselbe, wie sie im Opernglas verwandt wird.

Schon nach einem Jahr konnte Galilei in der Schrift *sidereus nuncius* über eine Fülle von Entdeckungen berichten. Er hatte entdeckt, daß die Oberfläche des Mondes wie die der Erde Berge und Täler aufwies, er stellte die Milchstraße als aus ungeheuer vielen Sternen bestehend dar u. a. m. Am wichtigsten war wohl seine Entdeckung der vier Jupitermonde, sowohl an und für sich als, wie schon ausgeführt, im Hinblick auf das kopernikanische Weltsystem, für welches die Entdeckung eines solchen Sonnensystems im kleinen eine gewaltige Stütze war.

Galilei war einer der ersten, der den Saturnring gesehen hat. Er konnte allerdings nur Verdickungen des Hauptplaneten an zwei gegen-



überliegenden Stellen beobachten, die er als zwei den Planet begleitende Sterne deutete. Die Erkenntnis, daß Saturn von einem Ring umgeben ist, war erst Huygens vorbehalten. An der Venus und an Merkur bemerkte Galilei die wechselnden Phasen, die wieder einen Beweis für die kopernikanische Lehre darstellten, oder wenigstens durch sie eine sehr einfache Erklärung fanden. Schließlich sei noch seine Entdeckung der Sonnenflecken genannt, in der er allerdings schon Vorläufer hat. Galilei hat jedoch das Verdienst, gezeigt zu haben, daß sie auf der Sonne sich von West nach Ost bewegen, und daraus sofort den Schluß gezogen zu haben, daß die Sonne sich um ihre Achse drehe.

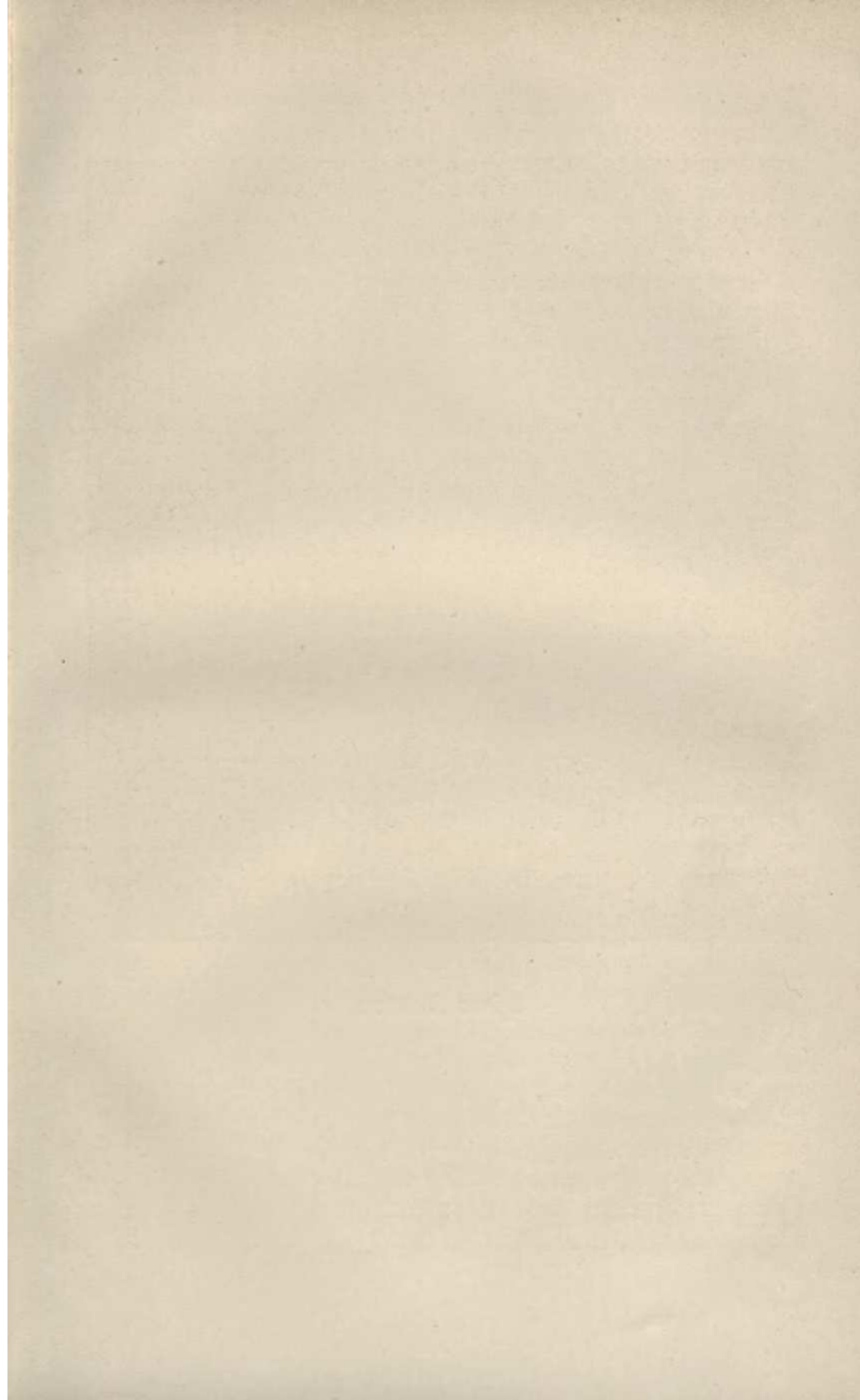
Unser Lebensbild Galileis wäre nicht vollständig, wenn wir nicht auch seine Neigung zu den schönen Wissenschaften, Literatur und Kunst jeder Art erwähnten. Im Zeichnen und Lauteschlagen soll er bedeutende Fähigkeit gehabt haben. Auch Gedichte, die er verfaßt hat, sind auf uns gekommen.

Gewaltig an Geisteskraft, an Selbstvertrauen und Kampfesmut, so steht er an der Schwelle der neuen Zeit; äußerlich ist er im Kampf unterlegen, aber seine Gedanken sind siegreich geblieben; die moderne Naturforschung verdankt ihm die Befreiung von unwürdiger Fessel.

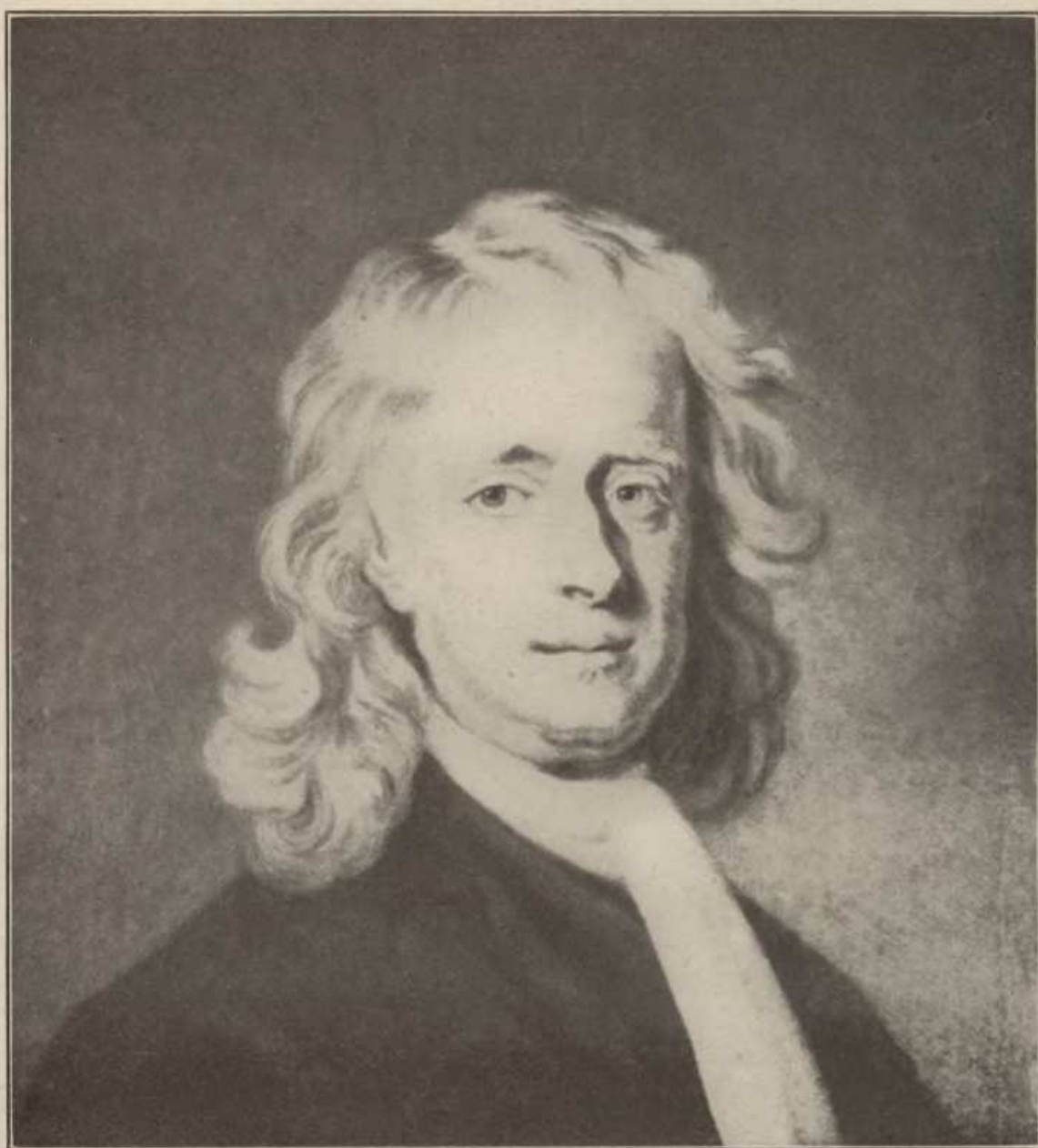
## II. Isaac Newton.

Die Entwicklung der modernen Mechanik ist eine beispiellos schnelle gewesen. 1638 erschienen die „Unterredungen“, in denen Galilei durch seine Untersuchungen über den freien Fall und die Wurfbahn die Fundamente der Bewegungslehre und des Kraftbegriffes im heutigen Sinn legte. Kaum ein Menschenalter später, im Jahre 1686, stellte Newton in den „Mathematischen Grundlehren der Naturwissenschaft“ die Gesetze der Mechanik in den allgemeinsten Formen auf, in denen sie noch heute die anerkannte Grundlage dieser Wissenschaft bilden, und zeigte ihre Gültigkeit an den Bewegungen der Himmelskörper. In der kurzen Zeit eines halben Jahrhunderts durchlief die Mechanik ihre ganze Entwicklung bis zu ihrer Vollendung. Seit Newton ist ein prinzipiell neues Prinzip der Mechanik nicht mehr gefunden, wenn wir von dem tiefsinnigen, von Einstein 1905 aufgestellten „Relativitätsprinzip“ absehen. Wohl ist natürlich im Laufe der Zeit die von ihm gegebene Grundlage der Mechanik weiter ausgebaut und namentlich nach der mathematischen Seite hin durchgearbeitet worden, wobei









*Isaac Newton*



die Newtonschen Prinzipien in Sätze von größter Eleganz gebracht sind. Aber etwas prinzipiell ganz Neues bieten diese Sätze nicht mehr. Sie sind alle in den Newtonschen Ansätzen bereits enthalten. Newton ist auf dem Gebiete der Mechanik bereits der Vollender der von Galilei ausgehenden Neugründung dieser Wissenschaft. Ihm allein verdankt man diese wunderbar schnelle Entwicklung.

Außer dem uralten Rätsel der Planetenbewegung hat Newton der Menschheit auch das ebenso bis auf seine Zeit völlig unbezwungene Problem des Wesens der Farben gelöst. Beides alltägliche, seit den ältesten Zeiten wahrgenommene, sich jedem Menschen aufs intensivste von selbst aufdrängende Erscheinungen. Aber ihre Erklärung wollte nicht gelingen. Kein Wunder, daß Newton beinahe göttliche Verehrung genoß und später auf seine Worte, als die des Meisters, ebenso geschworen wurde wie im Mittelalter auf die Lehre des Aristoteles.

Im Sterbejahre Galileis, am 5. Dezember 1642, wurde Isaac Newton in Woolsthorpe, einem Dorf in der Grafschaft Lincoln, geboren. Sein Vater, der ein kleines Landgut besaß, starb vor seiner Geburt. Newton soll ein überaus zartes, schwächliches Kind gewesen sein. Nach dem Elementarunterricht in der Dorfschule Woolsthorpe erhielt er seine weitere Ausbildung in der Stadtschule des Nachbarstädtchens Grantham, die er aber nur ein Jahr besuchen konnte, da er 1656 wieder nach Woolsthorpe zurückkehren mußte, um seiner Mutter, die in diesem Jahr ihren zweiten Mann verlor, bei der Verwaltung des väterlichen Erbgutes an die Hand zu gehen. Es scheint, als ob sich bald herausstellte, daß der junge Isaac zu allem eher als zum Landmann sich geeignet erwies. Es wurde beschlossen, daß er wieder die Stadtschule in Grantham besuchen sollte, um dann in das Trinity-College in Cambridge eintreten zu können, wo er auch bereits im Jahre 1661 aufgenommen wurde. Er machte dort die vorgeschriebenen Jahre durch. 1667 wurde er zum Minor fellow, 1668 zum Mayor fellow des Trinity-College gewählt. 1669 erhielt er am Trinity-College die Lucasien-Professorship, mit der die Verpflichtung verbunden war, wöchentlich je eine Vorlesung über irgendeine mathematische Disziplin zu halten. Am Trinity-College blieb Newton in dieser Stellung mit einem sehr geringen Einkommen fast 30 Jahre lang, bis im Jahre 1696 mit seiner Ernennung zum königlichen Münzmeister mit einem Schlage eine gänzliche Veränderung seiner Lebensstellung erfolgte.

Es wird übereinstimmend berichtet, daß Newton niemals in irgend-



welchen engeren Verkehr, sei es persönlicher, sei es wissenschaftlicher Art, mit Schulfreunden und Kollegen gekommen ist. Er ist stets einsam geblieben, auf sich selbst angewiesen. Der Grund hierfür lag jedenfalls sowohl in seinem verschlossenen, sich schwer anschließenden Charakter sowie besonders in seiner gewaltigen geistigen Überlegenheit über alle seine Mitschüler und auch Lehrer.

Ein inniges Verhältnis, ja wohl beinahe eine Freundschaft hat jedoch zwischen ihm und seinem Lehrer der Mathematik am Cambridge-College, Dr. Barrow, bestanden. Dieser gab 1669 Vorlesungen über Optik heraus, und Newton hat ihn dabei sehr wesentlich in der Durchsicht und Korrektur unterstützt, auch einige Zusätze geliefert. Es ist wohl anzunehmen, daß dies für Newton der äußere Anlaß gewesen ist, sich besonders mit Optik zu beschäftigen. Wir wissen, daß er sich im Jahre 1666 Glasprismen kaufte, und er erklärt selbst, daß er in diesem Jahre seine optischen Studien begonnen habe. Allerdings können diese bis zum Erscheinen des Barrowschen Lehrbuches noch nicht sehr weit gediehen sein, da dort noch vollständig die alten, vor der Newtonschen Zeit gültigen Ansichten über das Wesen der Farben ohne die geringste Andeutung der Newtonschen Versuche wiedergegeben werden.

Seine erste Publikation über seine grundlegenden Versuche, die Farbenlehre betreffend, stammt vom Februar 1672. Newton wurde zu ihnen geführt bei dem Bemühen nach Verbesserung des Fernrohres. Man strebte damals allgemein nach Verdeutlichung der Bilder im Linsenfernrohr. Die Ursache der Unschärfe sah man wesentlich in der sogenannten sphärischen Aberration, d. h. der Tatsache, daß die Bilder, welche Strahlen von verschiedenem Öffnungswinkel geben, nicht an genau derselben Stelle liegen, die Randstrahlen sich an anderer Stelle vereinigen als die Zentralstrahlen. Newton erkannte, daß die Beseitigung dieser sphärischen Aberration doch noch nicht scharfe Bilder liefern würde, da dann noch die chromatische Aberration bestehen bleibt, die ihren Grund darin hat, daß Strahlen verschiedener Farbe, die von demselben leuchtenden Punkte ausgehen, nicht denselben Bildpunkt ergeben, sondern daß jede Farbe einen anderen Bildpunkt hat, was zu den farbigen Säumen Anlaß gibt, mit denen die Bilder der Gegenstände im Linsenfernrohr immer in störender Weise versehen sind.

Newton bemühte sich längere Zeit um die Beseitigung der chromatischen Aberration. Bei dieser Gelegenheit ist er jedenfalls auf seine



epochemachenden Versuche zur Farbenlehre geführt worden, die im folgenden ausführlicher besprochen werden sollen.

In den vorliegenden speziellen auf die Verbesserung des Fernrohres gerichteten Versuchen kam allerdings Newton nicht zum Ziel. Er gelangte zu der Ansicht, daß eine Aufhebung der chromatischen Aberration, die Konstruktion achromatischer Fernrohre, unmöglich sei, und zwar, weil er der falschen Meinung war, Farbenzerstreuung und Brechung seien einander stets proportional. Er hat hierin geirrt; es ist sehr wohl möglich, achromatische Fernrohre zu konstruieren, wie Euler gezeigt hat. Es ist höchst lehrreich, daß der Schluß, den Euler zu der Annahme führte, der Bau achromatischer Fernrohre müsse ausführbar sein, ebenfalls irrig war. Euler meinte, das Auge sei ein solcher achromatischer Apparat, somit müsse die Konstruktion achromatischer optischer Instrumente möglich sein. Schon Newton wußte, daß das Auge durchaus nicht achromatisch ist; man kann sich durch einfache Versuche leicht davon überzeugen.<sup>1)</sup>

Er wandte sich daher von den Linsenfernrohren ganz ab und ging an die Konstruktion eines Spiegelfernrohres, das er 1668 fertigstellte, und das zuerst seinen Namen überall bekannt machte und seinem Erfinder großen Ruhm einbrachte. Es wurde dem König in London vorgeführt; die Royal Society in London, jene private 1662 gegründete Vereinigung der hervorragendsten Gelehrten Englands, veröffentlichte die Erfindung in ihrer Zeitschrift, den Philosophical Transactions, damit Newton die Priorität gewahrt bliebe, und wählte den damals erst 30jährigen jungen Mann in die Reihe ihrer Mitglieder. Seinen Dank für diese große Auszeichnung konnte Newton nicht würdiger abstatten, als indem er der Gesellschaft kurz nach seiner Wahl zum Mitglied seine berühmte Abhandlung: „Eine neue Theorie über Licht und Farben“ übersandte.

Von dieser Abhandlung datiert eine neue Epoche der Optik. Newton war sich des großen Wertes seiner Untersuchung voll bewußt. Er schreibt in einem Briefe vom 18. Januar 1672 an den Sekretär der Royal Society, Heinrich Oldenburg<sup>2)</sup>: „Ich möchte, daß Sie mich in

1) Siehe hierzu sowie über ein weiteres Beispiel, bei dem aus unrichtigen Prämissen ein richtiger Schluß gezogen wird, H. v. Helmholtz, Vorlesungen, Band VI, herausg. von S. Richter, S. 222.

2) Rosenberger, Isaac Newton und seine physikalischen Prinzipien S. 59.



Ihrem nächsten Briefe benachrichtigen, wie lange noch die Gesellschaft ihre wöchentlichen Versammlungen fortsetzt, weil ich beabsichtige, der Königlichen Gesellschaft einen Bericht über eine physikalische Entdeckung zur Prüfung vorzulegen, die mich erst auf die Verfertigung des Teleskops geleitet hat. Ich zweifle nicht, daß dieser Bericht sich viel angenehmer erweisen wird als die Mitteilung jenes Instruments; denn meinem Urteil nach betrifft es die seltsamste, wenn nicht die wichtigste Entdeckung, welche bisher über die Wirkungen der Natur gemacht worden ist."

Newton hat in der That durch die in jener Abhandlung beschriebenen Versuche ganz Außerordentliches geleistet, indem er das Wesen der Farbe aufklärte, insofern er nachwies, daß das weiße Licht eine Vereinigung von Strahlen aller möglichen Farben ist, deren jede eine ihr eigentümliche Brechbarkeit besitzt. Er beseitigte dadurch mit einem Schlag die zum Teil recht absonderlichen Vorstellungen, die man bis dahin von den Farbenerscheinungen hatte.

Im wesentlichen galt damals noch die Aristotelische Lehre, die allerdings an Verständlichkeit zu wünschen übrigläßt. Der Sinn dessen, was Aristoteles gemeint hat, ist etwa folgender: In jeder Substanz ist ein gewisser, nicht näher definierter Stoff als „durchsichtiger“ vorhanden, der es bewirkt, daß sie sichtbar wird, wenn sie von den von leuchtenden Körpern, etwa der Sonne ausgehenden Lichtstrahlen getroffen wird.

Je nach der Menge, in der dieses „Durchsichtige“ in einem Körper enthalten ist, soll nun das auffallende Agens Licht von verschiedener Farbe ergeben. An und für sich sind also alle Körper mit Dunkelheit behaftet. Werden sie von dem Lichtagens affiziert, was nur geschehen kann, soweit sie „Durchsichtiges“ besitzen, so vermengt sich ihre ursprüngliche Dunkelheit mit dem „Durchsichtigen“ zu einer gewissen Farbe; und deren Art soll nun abhängen von dem Mengenverhältnis, in dem die Dunkelheit mit „Durchsichtigem“ gemischt ist. Es kommt also darauf an, mit welcher Dichte das „Durchsichtige“ im Körper vertreten ist. Die Farben ergeben sich aus der Mischung von Licht und Finsternis. Die irdische Materie entstellt gewissermaßen das ursprüngliche Licht, indem sie es mit der Dunkelheit der Körper vermengt, so daß es nur noch als Farbe, nicht mehr in ursprünglichem Glanz herauskommt. Je mehr Dunkelheit dem Licht beigemischt ist, desto mehr rückt die Farbe des Lichts von dem glänzenden leuchtenden Rot durch Grün nach dem Blau und düsteren Violett.



Kurz vor Newtons Auftreten haben sich allerdings schon einige Forscher um eine klarere Auffassung und Erklärung der Farbenerscheinungen bemüht.

Am glücklichsten und erfolgreichsten hat sich Hooke um die Erforschung der Farben vor Newton bemüht; besonders hervorgehoben muß werden, daß er eine der heutigen überraschend nahe kommende Erklärung der sogenannten Farben dünner Blättchen lieferte, wie sie bei Seifenblasen, als Anlauffarbe des Stahls, überhaupt immer bei außerordentlich dünnen durchsichtigen Schichten vorkommen. Ganz wie nach der modernen Wellentheorie des Lichtes werden diese Farben als entstehend erklärt durch das Zusammenwirken von zwei Strahlen, von denen der eine an der ersten Begrenzungsfläche reflektiert, der andere in das Blättchen eingedrungen ist, an der zweiten Grenzfläche reflektiert und dann erst wieder, in das erste Medium zurückkehrend, sich mit dem ersten Strahl vereinigt. Allerdings ist die weitere Erklärung, wie nun die Farbe dabei im einzelnen entstehe, gänzlich von der heutigen abweichend.

Die Versuche Newtons sind genau dieselben, die heute noch als Grundversuche in jeder Experimentalvorlesung über Optik gezeigt werden. Das Aufsehen, das diese Versuche sofort überall erregten, lag zum Teil wohl darin, daß die Newtonsche Erklärung sozusagen das direkte Gegenteil der bisherigen Aristotelischen Erklärungsart bildete. Nach dieser sollte das Licht an und für sich etwas Gegebenes, Ursprüngliches sein, in dem noch gar nichts von Farben enthalten ist. Diese treten erst auf, wenn das Licht in einen Körper eindringt. Nach den Versuchen von Newton sind die Farben primär in dem ankommenden weißen Licht enthalten. Sie werden sichtbar entfaltet beim Durchgang durch ein Prisma. Die Gesamtheit aller Farben erweckt in unserem Auge die Empfindung Weiß. Die reellen Einzelbestandteile, das primär Gegebene, sind die einzelnen Farben. Weiß ist etwas Sekundäres, etwas, das erst in unserer Empfindung entsteht, wenn Lichtstrahlen aller Farben das Auge treffen. Für alle Lichttheorien vor Newton ist gerade das Weiß das primäre, das erst durch Einfluß der Körper oder in unserem Auge zu Farbe wird.

So bekannt die in jener Abhandlung Newtons angeführten Versuche auch wohl sein mögen, so sollen sie doch der Vollständigkeit und ihrer Wichtigkeit halber hier besprochen werden. Es sind nur wenige, aber um so beweiskräftigere Versuche, sämtlich mit Glasprismen angestellt.



Newton beschreibt entgegen seiner späteren verschlossenen Art hier ziemlich ausführlich die verschiedenen Gedanken, die ihn bei seinen Versuchen geleitet haben, auch die negativ verlaufenen Experimente. Im verdunkelten Zimmer läßt er durch ein kleines kreisförmiges Loch im Fensterladen einen Sonnenstrahl einfallen. Hinter die Öffnung setzt er ein Prisma. Auf der gegenüberliegenden Wand erscheint das Spektrum, an dem ihm zunächst auffällt, wie groß seine Länge gegenüber der Breite ist. Besonders fällt ihm die längliche Form des Spektrums auf. Nach den damals bekannten Brechungsgesetzen, die naturgemäß, da man ja von dem Wesen der Farben nichts wußte, sich nur allgemein auf einen (weißen) Lichtstrahl bezogen, also nur einen einzigen Brechungswinkel ergeben konnten, hätte die Figur auf der Wand ja wieder ein Kreis sein müssen. Dagegen war die Länge fünfmal größer als die Breite.

Zunächst überzeugt er sich nun, daß die Stelle, an der der Lichtstrahl durch das Prisma ging, also die Dicke des Glases, die nach den älteren Theorien wesentlich war, die Erscheinung nicht änderte. Ebenso war die Größe der Öffnung unwesentlich. Auch etwaige Unregelmäßigkeiten im Glas konnte das Auseinanderziehen der Farben nicht verursacht haben, denn wenn hinter das erste Prisma ein zweites, aber in verkehrtem Sinn gesetzt wurde, so wurde das vom ersten Prisma in eine längliche Form auseinandergezogene Licht von der zweiten wieder in die Kreisform zurückgebracht. Ferner dachte er daran, daß vielleicht die verschiedene Richtung der von der Sonne kommenden Strahlen die Ursache der Farben sein könnte. Newton zeigt, daß auch dies nicht maßgebend war. Der Winkel des Farbensächers war viel größer als der größte Winkel, den die auffallenden Sonnenstrahlen bilden.

Es kam ihm nun der Gedanke, ob nicht die Strahlen nach dem Durchgang durch das Prisma sich auf krummen Bahnen bewegen und je nach der Größe der Krümmung verschiedene Teile der Wand treffen könnten. Die Messung ergab aber, daß die Differenz zwischen der Länge des Bildes und der Breite der Öffnung stets ihrer Entfernung proportional war, womit auch diese Möglichkeit zurückgewiesen war.

Die Entscheidung über die Natur der Farben erhält er nun durch sein berühmtes „experimentum crucis“. Dicht hinter das Prisma der Fensterladenöffnung setzt er eine Tafel mit einer kleinen Öffnung; das Licht fiel von da auf eine etwa 12 Fuß entfernte zweite Tafel, die ebenfalls eine kleine Öffnung hatte; das durch diese gehende Licht



fiel dann auf ein zweites Prisma und von da schließlich auf die Wand, so daß das Licht also zwei Brechungen erfuhr. Wurde nun das erste Prisma langsam um seine Achse gedreht, so daß also nach und nach verschiedene Teile des Bildes durch die Öffnung der zweiten Tafel hindurchgingen, so zeigte sich, daß das Licht, welches nach der Brechung durch das erste Prisma an dem einen Ende lag, von dem zweiten Prisma viel stärker gebrochen wurde als das nach dem andern Ende des Bildes hin liegende. Newton schließt daraus<sup>1)</sup>: „Und so entdeckte sich die wahre Natur der Verlängerung des Bildes als keine andere, als daß das Licht in sich nicht ähnlich oder homogen ist, sondern aus verschiedenen Strahlen besteht, von denen die einen mehr, die andern weniger brechbar sind, so daß ohne irgendeine Verschiedenheit ihres Einfallswinkels bei demselben Medium doch die einen mehr gebrochen werden als die andern, und deswegen je nach den verschiedenen Graden ihrer Brechbarkeit die Strahlen durch das Prisma nach verschiedenen Teilen der gegenüberliegenden Wand gehen.“

Serner: „Geradeso wie die Lichtstrahlen sich unterscheiden nach Graden der Brechbarkeit, so unterscheiden sie sich in der Fähigkeit, diese oder jene besondere Farbe zu zeigen. Die Farben sind nicht, wie es allgemein geglaubt wird, Modifikationen des Lichts, die es durch die Brechung und Zurückwerfung an den natürlichen Körpern erhält, sondern ursprüngliche und angeborene Eigenschaften, die in verschiedenen Strahlen verschieden sind. Zu demselben Grade der Brechbarkeit gehört immer dieselbe Farbe und umgekehrt. Die Art der Farbe und der Grade der Brechbarkeit, welche irgendeiner Art von Strahlen eigentümlich sind, sind nicht abzuändern, weder durch Brechung noch durch Reflexion an einem Körper noch durch irgendeine andere Ursache, soweit ich das entdecken konnte.“

Newton berichtet ferner, daß zwei Farben vereinigt eine andere Farbe durch Mischung hervorbringen können. Dann fährt er fort: „Die erstaunlichste und wundervollste Zusammensetzung aber war die von Weiß. Es gibt keine Sorte von Strahlen, die dies allein hervorbringen kann, es ist immer zusammengesetzt, und zu seiner Herstellung gehören alle vorerwähnten Farben in richtigem Verhältnis. Ich habe oft mit Erstaunen gesehen, wie alle die prismatischen Farben, wenn sie konvergent gemacht und wieder so gemischt wurden, wie

1) Nach Rosenberger, S. 63.



sie im Lichte vor dem Durchgang durch das Prisma enthalten waren, aufs neue ein gänzlich reines vollkommen weißes Licht hervorbrachten. Das ist die Ursache, warum Weiß die gewöhnliche Farbe des Lichtes ist; denn Licht ist ein verworrenes Aggregat von Strahlen aller Arten von Farben, so wie sie gemengt von den verschiedenen Teilen der leuchtenden Körper ausgeworfen werden. Ein solches wirres Aggregat erscheint weiß, wenn die Ingredienzen im richtigen Verhältnis stehen; wenn aber eines derselben vorwiegt, so muß sich das Licht der entsprechenden Farbe zuneigen."

Am Schlusse der Abhandlung spricht dann Newton die Ansicht aus, daß man nach diesen Entdeckungen guten Grund habe, das Licht als eine Substanz zu bezeichnen. Diese Meinung soll aber nur unter allem Vorbehalt gegeben werden. „Mehr absolut und eingehender zu bestimmen, was das Licht sei, auf welche Weise es gebrochen wird, und auf welche Art oder durch welche Aktion es in unserem Geist die Einbildung der Farbe hervorbringt, das ist nicht so leicht, und ich will hier nicht Konjekturen mit Gewisheiten zusammenmischen."

Die ganze Abhandlung ist ein mustergültiges Vorbild für das von Galilei zuerst bewußt aufgestellte induktiv-deduktive Verfahren, wie es heute die allgemein geübte bewährte Methode der Naturwissenschaften geworden und bei Erörterung der Entdeckung der Fallgesetze durch Galilei ausführlich besprochen ist.

Auch die Art der Darstellung ist unübertrefflich. Man könnte wohl kaum diese Versuche anschaulicher, kürzer und zugleich klarer darstellen. Wohltuend berührt auch die offenbare Freude, mit der Newton über seine Überlegungen und Experimente berichtet. In seinen sämtlichen späteren Schriften gibt er sich viel verschlossener und nüchterner. Dazu trugen wohl wesentlich die zahllosen Angriffe bei, die Newton aus Anlaß dieser seiner ersten Schrift über sich ergehen lassen und abwehren mußte, und die er in solcher Anzahl und Schärfe nicht im geringsten geahnt hatte.

Es ist im ganzen wenig erfreulich und gewinnbringend, die Einzelheiten aller der literarischen Fehden zu verfolgen, in die Newton hier hineingezogen wurde, und die sich wesentlich um Prioritäten der Gedanken in jener Schrift drehen. Besondere Erwähnung verdienen jedoch die Angriffe, die der bereits erwähnte Physiker Rob. Hooke gegen ihn richtete, der an der Royal Society Curator of Experiments war, in welcher Eigenschaft er für das Material für die Sitzungen und für



die Vorbereitung von Experimenten zu sorgen hatte. Dieser war mit zwei anderen Mitgliedern der Royal Society von ihr zur Nachprüfung und Begutachtung der Newtonschen Versuche betraut worden. Er erkannte zwar ihre Wichtigkeit und Bedeutung völlig an, behauptete jedoch, daß sie keinen eindeutigen Beweis enthielten, und daß er an der Richtigkeit seiner Farbenlehre festhalten müsse. Der Streit ging nun mehrfach hin und her. Interessant ist er dadurch, daß Newton hier eine gewisse Annäherung an die Wellentheorie des Lichtes, entgegen seiner Annahme, das Licht sei ein Stoff, zeigt, oder wenigstens zugibt, daß er die Wellennatur des Lichtes nicht für ausgeschlossen hält. Er lehnte sie hauptsächlich deswegen ab, weil dann die Erklärung der geradlinigen Sortpflanzung des Lichtes unmöglich schien, da man doch beim Schall, dessen Wellennatur allgemein anerkannt war, im Gegenteil ein „um die Ecke gehen“ bemerken könne. In der Tat liegt hier eine Schwierigkeit, die vollkommen erst im vorigen Jahrhundert gelöst ist, nachdem Newtons großer Zeitgenosse Huygens den Weg dazu gebahnt hat. Auch Huygens wollte sich nicht mit der Ansicht Newtons befreunden, daß das weiße Licht aus unendlich vielen Einzelfarben zusammengesetzt sei, indem er meinte, man käme, ähnlich wie Hooke, mit einer Zweifarbentheorie aus. Leider bricht diese Kontroverse nach wenigen kurzen beiderseitigen Erörterungen ab.

Trotzdem Newton in einer Zeit der Mißstimmung über die vielen Streitigkeiten erklärt hatte, über Optik nichts mehr zu veröffentlichen, ging doch Ende des Jahres 1675 wieder eine größere optische Abhandlung von ihm bei der Royal Society ein. Er gibt darin eine eigentümliche Verbindung von Emissions- und Undulationstheorie. Er meint nämlich, das Licht bestehe in einer von den Lichtquellen ausgesandten Emanation, die in dem in den Körpern enthaltenen Äther Schwingungen erregt.

Besonders wichtig ist diese Abhandlung aber dadurch, daß in ihr das ebenso einfache wie geistvolle, jetzt als Methode der Newtonschen Ringe bezeichnete Verfahren angegeben wird, quantitativ die zu den einzelnen Farben dünner Blättchen gehörende Dicke der Schicht zu finden. Hooke, der sich mit den Farben dünner Blättchen und Versuchen zu ihrer Erklärung eingehend und nicht ohne Erfolg schon vorher beschäftigt hatte, war es trotz vieler Mühe nicht gelungen, diese Dicken zu messen, weil sie so außerordentlich klein sind. Newton stellte sich Luftschichten von geeigneter, außerordentlich fleiner, aber ganz genau



meßbarer Dicke her, indem er eine Konverglinse von bekannter Krümmung auf eine ebene Glasplatte legte. Nach ganz einfachen Formeln läßt sich hier die Dicke der Luftschicht zwischen Linse und Platte in verschiedenen Entfernungen von dem Berührungspunkt berechnen. Wie in seiner ersten Arbeit mit Prismen, so hat hier Newton mit denkbar einfachen Mitteln, die jedem zu Gebote stehen, fundamentale Untersuchungen angestellt.

Hooke behauptete nun wieder, in seiner Farbenlehre seien bereits eine Reihe der von Newton angestellten Experimente enthalten. Newton konnte allerdings leicht mit der Entgegnung antworten, daß jedenfalls die Hauptsache, die Auffindung der Beziehung zwischen der Dicke der Blättchen und ihrer Farbe, von Hooke eben nicht angegeben sei, immerhin muß wohl zugegeben werden, daß Hooke mit Recht gekränkt darüber sein mußte, daß Newton ihn so wenig in seiner Arbeit zitiert hatte. Nach verschiedenem Hin- und Herschreiben kamen beide Gegner zu dem Voratz, die Streitigkeiten ruhen zu lassen, deren beide müde geworden waren. Hooke veröffentlichte seit jener Zeit nichts mehr. Und auch Newton ließ seine optischen Arbeiten ruhen, um sie erst nach dem Tode Hooques im Jahre 1704 wieder aufzunehmen.

Schon längere Zeit hatte er sich mit Untersuchungen auf einem ganz anderen Gebiet, der Mechanik und kosmischen Physik, intensiv beschäftigt, die ihm unvergänglichen Ruhm einbringen sollten. Sie sind vielleicht das Glänzendste, was auf diesem Gebiete geleistet worden ist.

Mit solchem Höhepunkte der Forschung, wie mit vielen für die Menschheit besonders wichtigen Ereignissen verknüpft die geschäftige Sama leicht mythische Erzählungen, die festhaften und sich nicht ausrotten lassen, auch wenn ihre Unrichtigkeit hundertmal nachgewiesen ist. Es kann wohl auch schwerlich eine größere oder wenigstens umfassendere Tat gedacht werden, als das Gesetz aufzufinden, nach dem sich die Bewegungen der Weltkörper regeln.

So ist es mit der Erzählung von der Entdeckung des Begriffes „spezifisches Gewicht“ durch Archimedes; demselben Ursprung entstammt das trohige „Eppur si muove“ des greisen Galilei, und ebendahin gehört die Erzählung, daß Newton eines Tages unter einem Apfelbaum in tiefem Sinnen sitzend, durch einen fallenden Apfel auf den Gedanken geführt sei, ob nicht die Erdschwere, die den Apfel herabziehe, noch weiter reiche. Auch wenn nicht sonst gewichtige historisch beglaubigte Gründe gegen die Wahrheit dieser Erzählung sprechen würden, so ist



es vor allem unwahrscheinlich, daß Gedanken von so ungeheurer Tragweite plötzlich dem Haupte des Denkers entsprungen sein sollten. Sie können nur das Endergebnis lange im stillen vorbereiteter Überlegungen sein, die nicht nur den schließlichen glücklichen Entdecker, sondern auch schon gleichstrebende Denker vor seiner Zeit oder auch gleichzeitig beschäftigt haben. Das Rätsel der Bewegung der Weltkörper war ja ein uraltes, und jede Zeit weist Bemühungen auf, es zu lösen.

Die Ansicht, die Schwere nehme umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung ab, ist zuerst wohl 1645 von Bullialdus und 1666 von Borelli ausgesprochen worden, allerdings ohne genaue mathematische Begründung. Ein großes unbestreitbares Verdienst in dieser Frage hat sich aber vor allem wenige Jahre vor Newton dessen uns schon bekannter Gegner Hooke erworben. Man muß ihn als einen direkten Vorläufer Newtons bezeichnen, wenn auch Newton sich in keiner Weise auf Hookes Abhandlungen stützt. Hooke hatte 1666, um zu finden, nach welchem Gesetz die Schwere sich mit der Entfernung ändere, an der Erde Wägungsversuche in verschiedenen Höhen angestellt, bei denen nun allerdings keine Gewichtsänderung konstatiert wurde, weil die Höhendifferenzen viel zu klein waren. In demselben Jahre noch stellt er aber, um dieses Gesetz zu finden, Betrachtungen über die Planetenbewegungen an. Er bringt hier die uns heute seit Newton geläufigen Überlegungen. Ein Planet würde seine augenblickliche Bewegung in Größe und Richtung unverändert beibehalten, wenn nicht irgendeine Kraft ihn stets hieran hindert und seine Bewegung so beeinflusst, daß er die tatsächliche Bahn um die Sonne durchläuft. Diese Kraft muß man sich vorstellen als von der Sonne ausgehend, immer zu ihr hin gerichtet, wie die Erde einen Körper immer nach ihrem Mittelpunkt zu ziehen bestrebt ist.

Welches nun aber das wichtige Gesetz ist, nach dem jene anziehende Kraft wirkt, namentlich wie sie von der Entfernung abhängt, überlasse er denen, die Geschicklichkeit und Ausdauer dazu hätten, und auch die nötige Zeit, an der es ihm infolge Beschäftigung mit anderen Dingen mangle. Diese Andeutung, daß er nur aus Mangel an Zeit die Verfolgung dieser Ideen und namentlich die Ausrechnung des wichtigen Anziehungsgesetzes nicht selbst übernehme, streift, wie Rosenberger treffend bemerkt, „ans Komische, denn was dazu helfen konnte, war nicht die Zeit, sondern ein mathematisches Genie allerersten Ranges“.

Ganz besonders überraschend aber ist es, daß in einem Briefe Hookes



an Newton vom Jahre 1679 noch vor dem Erscheinen der Prinzipien Newtons sich die Stelle findet: Da die Gravitation mit der Entfernung von der Erde (wie das Quadrat der Entfernung) abnähme, so müsse die von einem fallenden Körper beschriebene Kurve eine Ellipse sein, deren einer Brennpunkt das Zentrum der Erde sei. So nahe ist also Hooke bereits der großen Newtonschen Entdeckung gewesen. Und doch, es fehlte eben an dem Wichtigsten, Fundamentalsten, an dem mathematischen Beweis, daß die Anziehung umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung sei, daß sich alle bekannten Eigenschaften der Planetenbewegungen auf Grund dieses Gesetzes erklären lassen. Diesen Schritt und den vielleicht noch bedeutenderen zu dem mathematischen Beweis der Identität dieser Anziehungskraft mit der irdischen Schwere zu tun war eben Newton vorbehalten.

Die äußerlichen, auf das kopernikanische System begründeten rein kinematischen Gesetze der Planetenbewegung hatte Kepler bereits auf Grund einer meisterhaften mühsamen Berechnung des vorliegenden Beobachtungsmaterials in den bekannten drei Regeln zusammengefaßt:

1. Die Planeten bewegen sich in Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.
2. Die Fahrstrahlen von dem Planeten zur Sonne überstreichen in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume.
3. Die Quadrate der Umlaufzeiten zweier Planeten verhalten sich wie die Kuben der großen Achsen ihrer Ellipsen.

Newton zeigte, daß aus ihnen folgt, daß von der Sonne auf die Planeten eine stets nach ihr hinggerichtete Kraft, eine Zentralkraft, wirkt, die der Masse des angezogenen Planeten proportional, dem Quadrat des Abstandes von der Sonne umgekehrt proportional ist. Schon diese Leistung Newtons ist bewundernswürdig. Newton ging jedoch noch viel weiter. Er machte zunächst die weitere Annahme, daß in gleicher Weise eine Anziehungskraft zwischen einem Planeten und seinen Trabanten (Monden) besteht, die ja zusammen als ein Sonnensystem in kleinerem Maßstab betrachtet werden können. Der allerbedeutendste Schritt, den er nun noch weiter tat, ist aber darin zu erblicken, daß er zeigte, daß diese Anziehungskräfte, die Sonne, Planeten und ihre Monde aufeinander ausüben, wesensgleich sind mit der Anziehungskraft, die die Erde auf alle Körper an der Erdoberfläche ausübt, und deren spezielle Gesetze von Galilei erforscht waren. In Verallgemeinerung der Galileischen Lehren über die Fallbewegung und der Keplerschen Sätze



über die Planetenbewegung stellt er schließlich sein berühmtes Gesetz der allgemeinen Massenanziehung auf: Je zwei Massen ziehen sich an mit einer Kraft, die dem Produkt der Massen direkt, dem Quadrat ihres Abstandes umgekehrt proportional ist. Die universelle nicht vom speziellen Stoff der Masse abhängige Proportionalitätskonstante, deren Zahlenwert von den Einheiten von Länge, Masse und Zeit abhängt, heißt die allgemeine Gravitationskonstante.

Newtons Gedankengang ist wohl etwa der folgende gewesen. Die Anziehungskraft, welche die Erde auf irgendeinen Körper an ihrer Oberfläche ausübt, bleibt bestehen, so weit man auch, wie in Bergen, sich dem Mittelpunkt der Erde nähert, und auch, so weit man sich, auf hohen Türmen oder Bergen, von ihm wegbewegen mag. Wie weit mag nun wohl diese Anziehungskraft der Erde reichen? Sollte sie vielleicht, wenn auch möglicherweise mit abnehmender Intensität, bestehen bleiben, so weit man sich auch von der Erde entfernen mag? Es ist schwerlich anzunehmen, daß sie in irgendeiner Entfernung plötzlich aufhören sollte. Dann steht also vielleicht auch der Mond unter dem Einfluß dieser Anziehungskraft? Nun sollen die anderen Planeten auf ihre Monde Anziehungskräfte ausüben, wie die Sonne auf die Planeten und nach demselben Gesetz. Warum sollte es für die Erde anders sein? Dann erhebt sich aber die Vermutung, ob nicht vielleicht diese von der Erde auf den Mond ausgeübte hypothetische Anziehungskraft eben nichts anderes ist, als ein Ausfluß derselben Anziehungskraft, welche die Erde auf die Körper an der Erdoberfläche ausübt, und die wir hier als die irdische Schwere bezeichnen, d. h. also daß der Mond in demselben Sinne „schwer“ ist, von der Erde angezogen wird wie ein geworfener Stein. Der einzige Unterschied wäre dann nur der, daß die Anziehungskraft, welche die Erde auf einen an der Stelle des Mondes befindlichen Körper ausübt, wegen der großen Entfernung viel kleiner sein müßte als auf denselben Körper, falls er sich an der Erdoberfläche befindet. Und zwar müßten sich die Beschleunigungen gegen den Erdmittelpunkt dann umgekehrt verhalten, wie die Quadrate der Abstände vom Erdmittelpunkt. Dies ist nun aber in der Tat, wie Newton zum erstenmal berechnet hat, zutreffend. Man weiß aus astronomischen Beobachtungen, daß der Mond auf seiner Kreisbahn um die Erde gegen die Erde hin eine Beschleunigung von  $0,271 \text{ cm/sec}^2$  erfährt. Andererseits ist die Beschleunigung, die jeder Körper an der Erd-



oberfläche gegen den Erdmittelpunkt bekommt, ungefähr  $978 \text{ cm/sec}^2$ , wie aus Beobachtungen am freien Fall bekannt ist. Die Entfernung des Mondes von der Erde beträgt 60 Erdradien, die beiden Beschleunigungen müßten sich, wenn Newtons Hypothese richtig ist, verhalten wie die jeweiligen Quadrate der Abstände vom Erdmittelpunkt, d. h. wie  $60 \times 60:1$  oder wie  $3600:1$ . In der Tat ist nun aber  $978:0,271$  sehr nahe 3600 — ein glänzender Beweis für die Richtigkeit der Newtonschen Hypothese.

Es wird erzählt, daß Newton, dessen große Ruhe sonst bekannt war, bei der ersten Ausführung dieser Rechnung in solche Aufregung geriet, daß er die Rechnung nicht vollenden konnte, sondern ihre Durchführung einem Freund übertragen mußte. Allerdings ist diese Erzählung nicht sehr wahrscheinlich. Durch diese Rechnung war nun gezeigt, daß die irdische Schwere nur ein Spezialfall der allgemeinen Gravitation ist. Daß wir bei irdischen Verhältnissen meist die Abnahme der Schwere mit der Höhe nicht erkennen, liegt daran, daß die Höhenveränderungen die wir hervorbringen können, nur sehr klein sind gegenüber der Entfernung vom Erdmittelpunkt. Immerhin würde z. B. in einem Luftballon ein Körper, der an der Erdoberfläche ein Gewicht von 1000 g hat, in 6000 m Höhe an einer Federwage nur etwa 998 g anzeigen. Genaue Messungen haben in der Tat die Abnahme der Schwere mit der Höhe zahlenmäßig richtig ergeben.

Die Gravitationskonstante, die Anziehungskraft, welche ein Gramm auf ein anderes Gramm im Abstand von 1 cm ausübt, ist so klein, daß Newton selbst ihre Messung als unmöglich ansah. Hierin hat er geirrt. Es ist mehrfach gelungen, sie mit großer Genauigkeit zu messen (am genauesten vor etwa 20 Jahren von Richarz und Krigar-Menzel).

Das Werk, in dem Newton diese Entdeckung, sowie überhaupt die allgemeinen Prinzipie der Mechanik niedergelegt hat, ist erschienen im Jahre 1687 unter dem Titel: Mathematische Grundlehren der Naturwissenschaften. *Philosophiae naturalis Principia mathematica*. Man darf es wohl mit Recht das hervorragendste physikalische Werk aller Zeiten nennen. Es wird in ihm nicht nur die Lehre von der allgemeinen Gravitation und die Anwendung auf die Bewegung der Himmelskörper entwickelt, sondern es ist auch das erste vollständige Lehrbuch der Mechanik, und zwar in einer auch heute noch kaum übertroffenen Vollendung und Präzision. Es ist in einer überaus knappen



Sprache in festgefügt an die „Elemente“ des Euklid erinnernden Form geschrieben.

An die Spitze werden einige Definitionen und Prinzipie gestellt, aus denen dann alles übrige mit logischer mathematischer Notwendigkeit abgeleitet wird. Die erste Definition lautet: „Die Menge der Materie (oder Masse) wird durch das Produkt aus Volumen und Dichte gemessen.“ Es tritt hier gleich der für die Mechanik so außerordentlich bedeutungsvolle Begriff der Masse auf, der vorher noch bei Galilei gar keine Rolle spielt, gar nicht oder nur wenig beachtet wurde. Newton bemerkt dann noch, daß die Masse durch das Gewicht gegeben sei. Daß beide einander stets proportional seien, habe er durch genaue Pendelversuche gefunden. Die folgenden Definitionen decken sich zum Teil mit den drei Axiomen der Bewegung, die von der allergrößten Bedeutung sind und folgendermaßen lauten:

1. Gesetz: „Jeder Körper beharrt in seinem Zustande der Ruhe oder der gleichförmigen geradlinigen Bewegung, wenn er nicht durch einwirkende Kräfte gezwungen wird, seinen Zustand zu ändern.“

2. Gesetz: „Die Änderung der Bewegungsgröße (nach Definition das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit) ist der Einwirkung der bewegendes Kraft proportional und geschieht nach der Richtung derjenigen geraden Linie, nach welcher jene Kraft wirkt.“

3. Gesetz: „Die Wirkung ist stets der Gegenwirkung gleich oder die Wirkungen zweier Körper aufeinander sind stets gleich und von entgegengesetzter Richtung.“

Diesen Axiomen der Bewegung schließen sich noch einige Zusätze an, von denen der erste der wichtigste ist. Er spricht den Satz vom Kräfteparallelogramm aus, d. h. den Satz, daß die Kräfte, die auf denselben Körper von verschiedenen anderen Körpern ausgeübt werden, voneinander unabhängig sind, sich gegenseitig nicht beeinflussen und modifizieren, so daß der erste Körper unter der gleichzeitigen Einwirkung aller anderen Körper an den Ort gelangt, an den er gelangt wäre, wenn die Einzelkräfte nacheinander gewirkt hätten.

Das erste Axiom ist offenbar das schon von Galilei angegebene, wenn auch nicht ausdrücklich als solches hingestellte sogenannte Gesetz der Trägheit. Das zweite Gesetz gibt das Maß der Kraft an. Daß die Änderung der Geschwindigkeit das Wesentliche bei dem freien Fall ist, war die Erkenntnis Galileis. Newton gibt hiervon in dem zweiten Axiom eine großartige Verallgemeinerung. Das dritte Axiom schließlich ist ein vollständig neues Naturgesetz.

Es folgt dann ein kurzes mathematisches Kapitel, in dem eine Rech-



nungsmethode angegeben wird, die für die folgenden Rechnungen nötig war. Newton bezeichnet sie als „Methode der ersten und letzten Verhältnisse“. Es handelt sich hierbei um Bestimmung des Wertes, den das Verhältnis der Längen von Bogen, Sehne und Tangente eines Kurvenstückes bei unbegrenzt abnehmender Länge zustreben, also um Überlegungen, wie sie der Differentialrechnung eigentümlich sind.

Hierauf gibt Newton die Berechnung derjenigen Zentralkräfte, die bei gegebener Bahn eines bewegten Massenpunktes wirksam sein müssen, sowie die Lösung des umgekehrten Problems, Bestimmung der Bahn bei gegebener Zentralkraft. Nach dieser Erörterung der freien Bewegung wendet sich Newton zu dem Gesetze der Bewegungen auf vorgeschriebenen Bahnen, zu denen die Pendelbewegung gehört; das erste Buch enthält auch noch die Bewegungen freier Körper, die gegenseitig Kräfte aufeinander ausüben.

Im zweiten Buch werden zunächst die unter dem Einfluß von Widerstandskräften stattfindenden Bewegungen besprochen, z. B. der Wurfbahn und der Pendelbewegung unter Berücksichtigung des Luftwiderstandes.

Im zweiten Abschnitt dieses Buches gibt Newton nur anmerkungs- und andeutungsweise einige wenige Sätze über die von ihm erfundene Differentialrechnung.

Besonders bemerkenswert ist in diesem zweiten Buch die Ableitung der Formeln für die Schallgeschwindigkeit. Das Buch schließt mit der Erörterung der Wirbelbewegungen.

In dem dritten Buch werden aus den in den beiden vorangehenden Büchern gegebenen Grundsätzen die wichtigsten Anwendungen auf die Bewegung der Himmelskörper gemacht, die ein glänzender Beweis für die Fruchtbarkeit der aufgestellten Axiome der Bewegung sind. Merkwürdig beginnt das Buch mit einigen allgemeinen Regeln, die Newton für die Erforschung der Natur aufstellt. Sie sind interessant genug, um hier angeführt zu werden.

1. Regel. An Ursachen zur Erklärung natürlicher Dinge nicht mehr zuzulassen, als wirklich sind und zur Erklärung jener Erscheinungen ausreichen.

2. Regel. Man muß daher, soweit es angeht, gleichartigen Wirkungen dieselben Ursachen zuschreiben. So dem Atem der Menschen und der Tiere, dem Fall der Steine in Europa und Amerika, dem Licht des Küchenfeuers und der Sonne, der Zurückwerfung des Lichtes auf der Erde und den Planeten.

3. Regel. Diejenigen Eigenschaften der Körper, welche weder verstärkt



noch vermindert werden können, und welche allen Körpern zukommen, an denen man Versuche anstellen kann, muß man für die Eigenschaften aller Körper halten. (Ausdehnung, Härte, Undurchdringlichkeit, Beweglichkeit, Beharrungskraft, Schwere.)

4. Regel: (erst in der dritten Auflage der *Principia* hinzugefügt.) In der Experimentalphysik muß man die aus den Erscheinungen durch Induktion erschlossenen Sätze so lange als wahr halten, bis andere Erscheinungen eintreten, durch welche sie entweder größere Genauigkeit erlangen oder Ausnahmen unterworfen werden. Dies muß geschehen, damit nicht das Argument der Induktion durch Hypothesen aufgehoben werde.

In dem Hauptteil folgt sodann die Aufstellung der Theorie der allgemeinen Gravitation sowie ihre Anwendung auf die planetarischen Störungen. Welches ist denn nun aber die Ursache dieser bis in die fernste Ferne stets nach demselben Gesetz wirkende Kraft der Gravitation? Newton lehnt es am Schluß seines Werkes mit dem berühmten halb stolzen, halb resignierenden Satz: „Hypotheses non fingo, Hypothesen erdenke ich nicht“ direkt ab, seine Ansicht darüber mitzuteilen. Die betreffenden Sätze lauten: „Ich habe noch nicht dahin gelangen können, aus den Erscheinungen den Grund dieser Eigenschaften der Schwere abzuleiten, und Hypothesen erdenke ich nicht. Alles nämlich, was nicht aus den Erscheinungen folgt, ist eine Hypothese, und Hypothesen, seien sie nun metaphysische oder physische, mechanische oder diejenigen der verborgenen Eigenschaften, dürfen nicht in die Experimentalphysik aufgenommen werden. In dieser leitet man die Sätze aus den Erscheinungen ab und verallgemeinert sie durch Induktion. Es genügt, daß die Schwere existiere, daß sie nach den von uns dargestellten Sätzen wirke, und daß sie alle Bewegungen der Himmelskörper und des Meeres zu erklären imstande sei.“

So schließt Newton sein im wahren Sinne des Wortes Himmel und Erde umspannendes Werk. Wie großes Aufsehen es sofort machte, ersieht man daraus, daß es kurz nach seinem Erscheinen vergriffen war und noch eine zweite und eine dritte Auflage notwendig wurde.

Die große Entdeckung Newtons, daß das einzige verhältnismäßig so einfache Gravitationsgesetz die Bewegungen nicht nur der irdischen Körper, sondern des ganzen Weltalls regle, machte einen so ungeheuren Eindruck, daß man dieses Gesetz als Erklärungsprinzip überhaupt allen physikalischen Erscheinungen zugrunde legen zu müssen glaubte. Man ging dabei über den Meister noch weit hinaus. Wie sich Newton seinem Grundsatz getreu: *Hypotheses non fingo* nie über die Ursache der Gravitation ausgesprochen hat, so hat er auch die



Hypothese der unmittelbaren Fernwirkung niemals direkt aufgestellt, wonach die Gravitationskraft ganz ohne Vermittlung eines Zwischenmediums unvermittelt durch den leeren Raum von einem Körper zum anderen wirke. Im Gegenteil erklärte er diese Ansicht einmal direkt als eine Absurdität. Je mehr sich aber die Erfolge der reinen Fernwirkungstheorie häuften, desto mehr befestigte sich der Gedanke an ihre Richtigkeit, desto mehr glaubte man, ein die Kraft vermittelndes Medium entbehren zu können und dehnte deshalb die Anschauungen dieser Theorie auf alle Gebiete aus, namentlich auf die Lehre von der Elektrizität und vom Magnetismus; erst im vorigen Jahrhundert begann, wieder von England aus, die Reaktion hiergegen auf den letztgenannten Gebieten. Allerdings muß zugegeben werden, daß wir auch heute noch keine allgemein angenommene Vorstellung von der Ursache der Gravitation haben und uns hier noch ganz auf den Newtonschen Standpunkt stellen müssen, indem wir uns an der Kenntnis des Gesetzes, nach dem sie wirkt, genügen lassen; wir sind hier über Newton noch nicht hinausgekommen. Es ist ferner schon betont worden, daß auch die allgemeinen Gesetze der Mechanik von Newton so vollständig gegeben sind, daß bis heute nichts wesentlich Neues hinzugefügt worden ist, wenn sie auch in sehr elegante, umfassende Sätze seitdem zusammengefaßt sind.

Wohl aber muß ein Punkt noch hervorgehoben werden. So glücklich Newton in der Auffindung der Gesetzmäßigkeiten war, und so sehr wir besonders die geniale intuitive Erfassung des Begriffes der Masse und seiner großen Wichtigkeit bewundern müssen, so muß man doch andererseits zugeben, daß die Definitionen und Axiome der Bewegung, die er an die Spitze seines Werkes stellt, nicht diejenige Sorgfältigkeit und innere Logik besitzen, die man gerade bei dieser Darstellung der grundlegenden Sätze und Begriffe wünschen und erwarten würde.<sup>1)</sup> Namentlich tritt dies hervor in der Unklarheit bei der Einführung des Massenbegriffes. Nach der ersten Definition ist die Menge Materie oder die Masse eines Körpers das Produkt aus Dichte und Volumen. Nun ist aber die Dichte die Masse, die in der Einheit des Volumens enthalten ist. Die erste Definition sagt also gar nichts über die Masse aus. Sie ist ein vollkommener Zirkelschluß, der den Begriff der Masse in keiner

1) Vgl. hierzu die ausgezeichneten Ausführungen von E. Mach in seiner „Mechanik“, die mir für das Folgende maßgebend gewesen sind und denen man, soviel ich sehe, nur durchaus in allen Punkten zustimmen kann.



Weise erläutern kann. Ferner: die dritte Definition enthält das Trägheitsgesetz. Diese Definition ist überflüssig, da in den folgenden Definitionen gesagt wird, daß Kräfte eine Beschleunigung hervorbringen und damit ja von selbst folgt, daß, wenn keine Kräfte wirken, keine Beschleunigung vorhanden ist, also Anfangsgeschwindigkeiten konstant erhalten bleiben.

Von den beiden sofort folgenden, bereits genannten Axiomen der Bewegung sagen die beiden ersten, die das Trägheitsgesetz und die Definition der Kraft enthalten, dasselbe aus, was in der vorangehenden Definition bereits enthalten und ausgesprochen ist. Das dritte Axiom von der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung bringt nun allerdings ein ganz neues Naturgesetz. Es baut sich aber ganz auf die gegebene Definition der Masse auf, deren Größe bekannt sein muß, wenn das Gesetz überhaupt anwendbar sein soll. Da aber, wie wir gesehen haben, die Definition der Masse eine Scheindefinition ist, so schwebt das dritte Axiom in der Luft. E. Mach hat in vortrefflicher Weise gezeigt, daß es viel logischer ist, den ganzen Gedankengang umzukehren, und aus dem dritten Newtonschen Axiom nicht ein Gesetz, sondern vielmehr eine Definition des Begriffes der Masse zu machen, wie es auch namhafte Physiker neuerer Zeit, Boltzmann, Mach, Poincaré u. a. tun.

In Anbetracht der enormen Geistesleistung und der Fülle von neuen Sätzen, die in den „Grundlehren“ niedergelegt sind, erscheint die Zeit, die Newton zur Abfassung seines fundamentalen Werkes gebraucht hat, erstaunlich kurz. Wir dürfen annehmen, daß er etwa im Jahre 1679 begonnen hat, sich intensiv mit Himmelsmechanik zu beschäftigen. Die erwähnte Erzählung von dem Apfelbaum, unter dem ihm zuerst die Möglichkeit einer Ausbreitung der Erdschwere bis auf den Mond hin aufgetaucht sein soll, wird in das Jahr 1666 gelegt, wo Newton längere Zeit auf seinem Erbgut zubrachte, da das College in Cambridge der Pest wegen geschlossen war. Doch sagt Newton selbst in einem von Brewster aufgefundenen Memorandum, daß Teile des ersten Buches 1679 fertiggestellt seien, daß er aber das ganze Werk in 17 oder 18 Monaten von Ende Dezember 1684 niedergeschrieben habe.

In diesen Jahren, seit 1679, hat auch offenbar die Arbeit an den „Grundlehren“ seine Tätigkeit vollständig in Anspruch genommen. Sein Samulus Humphrey Newton hat uns Genaueres über die Lebensweise Newtons in jenen Jahren berichtet. Danach war Newton unablässig mit Arbeit beschäftigt, ohne sich jemals die geringste Zer-



streuung oder Erholung zu gönnen. Selbst das Essen und Schlafen schränkte er auf das Äußerste, unbedingt Notwendige ein, um keine Zeit zu verlieren. Er war stets so vertieft in seine Gedanken, daß er alles andere darüber vergaß, Essen und Trinken, ja selbst seine Umgebung. Es wird erzählt, daß er gelegentlich, wenn er Gäste bei sich hatte und nach seiner Studierstube ging, um Wein zu holen, seine Freunde ganz vergaß und in seiner Arbeit fortfuhr. Er war in jener Zeit ein typischer zerstreuter Gelehrter, ein zweiter Archimedes. Sein Auftreten und Benehmen andern gegenüber soll im Verkehr ernst und gemessen, aber durchaus nicht unfreundlich gewesen sein. Jedenfalls hat er in jener Zeit ein ganz einsames, nur der Arbeit gewidmetes Leben geführt. Als ihn einst sein Freund Halley fragte, wie er es nur fertig gebracht habe, so viele und große Entdeckungen zu machen, sagte er: „Indem ich unablässig darüber nachdachte.“ Und ein andermal äußerte er, daß er das, was er etwa Bedeutendes geleistet habe, nur seiner Geduld und seinem andauernden Fleiß zu danken habe.

In jener Zeit der Abfassung der „Grundlehren“ hat er auch mit niemandem über die ihn bewegenden Gedanken ausführlich gesprochen oder korrespondiert; die „Grundlehren“ sind sein ureigenstes Werk. Es erschien, auf Kosten der Royal Society gedruckt, im Jahre 1687.

Die Veröffentlichung brachte Newton leider sofort wieder einen höchst unerquicklichen und unerfreulichen Prioritätsstreit wegen des Attraktionsgesetzes mit Hooke, mit dem er schon die erörterten Streitigkeiten nach der Publikation seiner ersten Schrift über die Farbenbrechung hatte. Hooke behauptete direkt, Newton habe das quadratische Gesetz von ihm, wenn er auch ohne weiteres zugab, daß die Entwicklungen, die sich dann über die Planetenbahnen anschließen, Newton ganz allein zukommen. In der Tat hatte ja, wie wir sahen, Hooke dieses Gesetz schon ausgesprochen. Hooke verlangte durch den Sekretär der Royal Society, Halley, daß Newton dieses in der Vorrede erwähnen solle.

Newton lehnte diese Forderung in äußerst scharfer Weise in einer ausführlichen umfangreichen Verteidigungsschrift rundweg ab. Das Hauptargument bestand darin, daß Hooke überhaupt keinen Anspruch auf das quadratische Kraftgesetz habe, da es schon Bullialdus behauptet habe. Es gelang schließlich der Vermittlung Halleys, den Streit dadurch zu schlichten, daß Newton auf seine Anregung an der Stelle, die



das quadratische Kraftgesetz enthält, den Zusatz machte: Der Fall des Zusatzes 6 findet bei der Bewegung der Himmelskörper statt (wie auch unsere Wren, Hooke und Halley unabhängig gefunden haben).

Damit endete dieser unerquickliche Streit, der leicht hätte vermieden werden können. In der That muß man wohl sagen, daß Newton die Verdienste Hooques gleich hätte hervorheben oder wenigstens nach der ersten leisen Ermahnung durch Halley sofort in das Werk einfügen sollen.

Man könnte meinen, daß sich die englische Regierung hätte beeilen müssen, Newton eine seiner hervorragenden Bedeutung entsprechende Stellung zu geben. Dem war nicht so. Newton blieb noch viele Jahre in der einfachen ziemlich bedeutungslosen und sehr schlecht bezahlten Stellung als Lucasian Professor am Trinity-College in Cambridge. Unter den Sachmännern erfreute er sich ja eines nicht geringen Ruhmes, der in weitere Kreise auch schon früher durch seine Abhandlung über Farbenbrechung gedrungen war. Auch an der Universität Cambridge war er hochgeschätzt; sie entsandte ihn einige Jahre als ihren Vertreter in das Parlament, wo er allerdings öffentlich niemals hervorgetreten ist. Die einzigen Worte, die er dort gesprochen haben soll, enthielten die Bitte an einen Diener, das Fenster zu schließen. — Sonst blieb jedoch seine Stellung unverändert.

So wenig Wert Newton auf die äußeren Güter des Lebens legte, so mag doch dieser Mangel an äußerem Erfolg mit zu dem Ausbruch einer Gemüts- und Geistesstörung beigetragen haben, die sich bei ihm nach dem übereinstimmenden Zeugnis der Zeitgenossen etwa in den Jahren 1691—1693 bemerkbar machte. Sicheres ist weder über die nächsten Ursachen, noch über die Tiefe und Dauer dieser geistigen Verwirrung bekannt. Am nächsten liegt es wohl, sie als eine naturgemäße Folge der ungeheuren Geistesarbeit anzunehmen, die Newton bei der Abfassung der Prinzipia aufgewandt hatte, ohne dem Körper sein Recht der gelegentlichen Ruhe und Erholung zu gönnen. Als äußerer Anlaß wird auch ein Brand erwähnt, der, durch Umwerfen einer Kerze durch Newtons Lieblingshündchen veranlaßt, wichtige Manuskripte, wie es heißt, seiner „Optik“, zerstört haben soll. Jedenfalls scheint Newton nach kurzer Zeit, etwa spätestens im Jahre 1694, die geistige Verwirrung wieder völlig überwunden zu haben.

Im Jahre 1696 fiel die eine der Ursachen, die man für Newtons melancholische trübe und verwirrte Geistesstimmung verantwortlich



gemacht hat, die Beschränktheit seiner äußeren Lage, fort. Durch Vermittlung von Charles Montague, später Earl of Halifax, mit dem Newton in Cambridge, wo Montague studiert hatte, befreundet war, und der das einflußreiche Amt eines Kanzlers des Finanzkollegiums bekleidete, außerdem Präsident der Royal Society war, erhielt Newton die Stelle eines ersten Beamten der Königlichen Münze nach dem Vorsteher. Dieses mit 5—600 Pfund dotierte Amt vertauschte Newton 1699, ebenfalls durch die Gunst seines Freundes Montague mit demjenigen des Master of the mint, d. h. Direktor der Königlichen Münze, die ihm das stattliche Gehalt von 1500 Pfund jährlich gab. Er war mit einem Schlage aus einer fast ärmlich zu nennenden Stellung zu einem der bestdotiertesten Ämter gelangt, allerdings zu einem Amt, das er der Freundschaft seines einflußreichen Gönners verdankte, nicht einer Anerkennung seiner außerordentlichen Verdienste um die Wissenschaft. Seitdem hatte Newton seinen Wohnsitz in London, wo er nun ein großes Haus führte, dem seine Nichte Katharina Burton vorstand, deren Anmut und Geist vielfach gerühmt wird. So anspruchslos Newton für seine eigene Person blieb, so verstand er es doch gut, seinen Haushalt mit einer seinem hohen Amt entsprechenden Würde zu führen, die vielleicht nicht jedermann von dem einstigen zerstreuten, nur in der Einsamkeit seinen Problemen nachgrübelnden Cambridger Professor erwartet hatte. Daneben ist er auch von fast unbegrenzter Freigebigkeit gegen Bedürftige gewesen. Ehren aller Art häuften sich nun auf sein Haupt. 1699 wählte ihn die Pariser Akademie zu einem ihrer acht auswärtigen Mitglieder. 1703 wurde er Präsident der Royal Society, und die Gesellschaft wählte ihn bis zu seinem Tode jährlich von neuem zu ihrem Präsidenten, was ihm eine ganz eminente Machtsstellung in der Welt der Wissenschaft verschaffte, in der er nun wie ein Fürst herrschte.

Das Jahr 1703 war für Newton auch insofern bedeutungsvoll, als in ihm sein alter Gegner Hooke starb, und nun für ihn der bereits erwähnte Grund fortfiel, der ihn bisher an einer zusammenfassenden Darstellung seiner Versuche und Gedanken über Optik gehindert hatte. Er hatte sich vorgenommen, so lange Hooke lebte, nichts wieder über Optik zu veröffentlichen, um nicht mit diesem von neuem in Streitigkeiten zu geraten. Nun zögerte er nicht mehr damit. Im Jahre 1704 erschien dieses lange geplante Werk. Es ähnelt in seiner ganzen Anlage, der geschlossenen Form, der Einteilung in Definitionen und Lehr-



sätze und Axiome sehr den „Grundlehren“ und weicht insofern sehr von seiner schon geschilderten ersten Abhandlung über das Wesen der Farben ab. Sachlich beruht aber die größte Abweichung darin, daß hier Newton von vornherein und ausdrücklich die Emissionstheorie des Lichtes zugrunde legt, die er in seiner ersten Abhandlung nur als plausibel hingestellt hatte. Das erste Buch gibt wesentlich seine ersten grundlegenden Versuche über die Farben, sowie die darauf gegründete genaue Erklärung des Regenbogens. Im zweiten Buch sind dann die Versuche über die Farben dünner Blättchen enthalten. Als neu erscheint nun aber hier, gemäß seinem neuen Standpunkt, in dem er sich ganz zur Emissionstheorie bekennt, die eigentümliche Erklärung dieser Farbenerscheinungen an dünnen Blättchen auf Grund der Emissionstheorie des Lichtes. So gut die Emissionstheorie die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes erklärt — sie ist ja danach überhaupt selbstverständlich, während die Wellentheorie des Lichtes nur schwer davon Rechenschaft geben konnte —, so große Schwierigkeiten hat sie, eine befriedigende Erklärung von den Farben dünner Blättchen zu geben, was nun wiederum für die Undulationstheorie des Lichtes ein Leichtes war. Newton erdachte hierzu seine merkwürdige wenig befriedigende Hypothese der „Anwandlungen“ des Lichtes. Ungetreu seinem stolzen Wort aus den „Grundlehren“: „Hypothesen erdenke ich nicht“, legt er hier einem Lichtstrahl durchaus hypothetische Eigenschaften bei. Danach soll nämlich ein Lichtstrahl „Anwandlungen“ auf seinem Wege erleiden, die es bedingen, daß er an der einen Stelle leichter reflektiert, an der andern leichter gebrochen wird. Diese folgen aufeinander in sehr kleinen Intervallen, die aber von Farbe zu Farbe verschieden sind, für Rot am größten, für Violett am kleinsten. Es läuft also die Hypothese ungefähr hinaus auf die verschiedenen Phasen, die sich nach der Undulationstheorie hintereinander in einem Lichtstrahl fortpflanzen, und zwar sind hier die Abstände gleicher Phase (Wellenberg bez. Wellental) gerade die Wellenlänge des Lichtes. Nach der Wellentheorie ist diese Verschiedenheit auf dem Wege eines Lichtstrahles leicht verständlich; wie soll man sich aber diese Verschiedenheiten auf einem Strom materieller in sich gleicher Teilchen denken? Newton sieht sich nun auch an dieser Stelle zur Aufsuchung neuer Hypothesen gezwungen, die er allerdings mehr hinwirft, als ausführt.

Das dritte Buch der Optik enthält die Beugungserscheinungen,



d. h. die gelegentlich etwa bei Durchgang des Lichtes durch sehr enge Spalten auftretenden Abweichungen von der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes; er gibt darin aber nur im wesentlichen schon von Grimaldi untersuchte Erscheinungen mit neuen quantitativen Messungen.

Diesen drei Büchern fügt nun aber Newton noch einen höchst merkwürdigen Anhang an, indem er in Form von Fragen allerlei Gedanken Ausdruck verleiht, die er nicht zum Abschluß gebracht hat, oder die ihm nicht reif genug erscheinen, um so wie in den ersten Büchern veröffentlicht zu werden, aber doch der Diskussion wert sein möchten. Er gibt dort für Erscheinungen, deren bestimmte Erklärung ihm nicht möglich ist, Erklärungsversuche, Gedanken, die er über diese Probleme und ihre etwaigen Erklärungsmöglichkeiten hat. Sie sind vorsichtigerweise in Frageform eingekleidet, von Ausführungen sehr verschiedenen Umfanges begleitet. Es ist schwer zu sagen, wie weit Newton die dort aufgestellten Gedanken als seine eigene Überzeugung angesehen haben wollte. Jedenfalls haben seine Schüler sie als die ureigenste Ansicht und direkte Lehre des Meisters schon bei seinen Lebzeiten weiterverbreitet, ohne daß Newton sich ernstlich dagegen gewehrt hätte. Einige Beispiele werden am besten die eigentümliche Form dieses Anhangs zur Optik erkennen lassen.

Die ersten Fragen befassen sich mit Erklärungsversuchen der Beugungsercheinungen. 1. Wirken nicht die Körper schon aus einiger Entfernung auf das Licht, so daß sie die Lichtstrahlen beugen, und 2. unterscheiden sich nicht die verschiedenen Lichtstrahlen in dieser Beugbarkeit ebenso wie in der Brechbarkeit, so daß auch bei der Beugung die verschiedenen einfarbigen Strahlen voneinander getrennt werden? 3. Geschieht nicht diese Bewegung vor- und rückwärts, so daß die Strahlen in der Nähe der Körper schlangenförmig gestaltet sind und drei solcher Schlangenbiegungen die vorerwähnten drei Beugungsfransen erzeugen? 4. Stammen nicht die Zurückwerfung, Brechung und Beugung des Lichtes aus einem und demselben Prinzip her, das dabei nur unter verschiedenen Umständen auch in verschiedener Weise wirkt?

In ganz ähnlicher unbestimmt gehaltener Form werden in den folgenden Fragen eine große Menge von Problemen behandelt, das Verhältnis von Licht und Wärme, die Erscheinungen der Doppelbrechung des Lichts, das Wesen der Lichtempfindung u. a. m. Na-



mentlich wird in einer umfangreichen Erörterung nochmals die Emissionstheorie gegen die anderen Lichttheorien verteidigt.

Das für die Wellentheorie des Lichtes grundlegende Werk von Huygens: „Abhandlung von Licht“, war 1690, kurz vor Newtons „Optik“, erschienen. Newton erwähnt es jedoch kaum und befaßt sich mit den darin gegebenen Lehren in keiner Weise. Er lehnt es stillschweigend ab. Ihm folgen hierin seine Schüler natürlich in verstärktem Maß, so daß bei der großen Autorität, die Newton besaß, und die sich noch auf viele Jahrzehnte nach seinem Tode erstreckte, Huygens' Schrift ein ganzes Jahrhundert fast unbeachtet blieb. Zu Lebzeiten haben sich die beiden großen Zeitgenossen zwar gegenseitig mit größter Achtung behandelt, aber es gelang keinem, den andern zu überzeugen, jeder blieb bei seiner Ansicht.

Nach dem Erscheinen der Optik hat Newton grundlegende Werke neuen Inhalts nicht mehr veröffentlicht, sondern nur noch einige neue Auflagen der „Grundlehren“ und der „Optik“ herausgegeben. Gerade ihm, der wissenschaftlichen Streitigkeiten so abgeneigt war, war es beschieden, noch in den letzten Jahrzehnten seines Lebens einen heftigen Prioritätsstreit führen zu müssen. Es handelt sich dabei um nichts Geringeres als um die Erfindung der Differential- und Integralrechnung. Wenn es auch an dieser Stelle unmöglich ist, auf das Sachliche in diesem Streit einzugehen, so muß er doch hier besprochen werden, weil er in Newtons Leben eine große Rolle gespielt hat.

Wie es so oft bei wissenschaftlichen Entdeckungen vorkommt, daß sie fast zu gleicher Zeit von mehreren gemacht wird, weil die Zeit eben dazu reif und der Boden vorbereitet ist, so war es auch hier; nur daß der Streit hier von besonderer Bedeutung ist, weil die Gegner in ihm zwei der hervorragendsten Geister sind, Newton und Leibniz, und es sich um eine der wichtigsten Erweiterungen der Mathematik handelt. Es ist ziemlich klar erwiesen, daß der ganze aufs heftigste geführte, sogar mit Verdächtigungen der schwersten Art angefüllte Streit um die Priorität im Grunde unnötig und gegenstandslos war. Beide Gegner haben die Grundgedanken in denselben Jahren vollständig unabhängig voneinander gefaßt, aber natürlich sich stützend auf vorbereitende Arbeiten früherer Mathematiker.

Wenn Newton Mühe hatte, seine Verdienste auf diesem Gebiete zur Geltung zu bringen, so war er allerdings selbst schuld daran, da er niemals eine größere Darstellung seiner neuen Rechnungsart ge-



geben, sondern nur mehr andeutungsweise und in Briefen davon gesprochen hat. In den „Grundlehren“ hat, wie erwähnt, Newton die Grundzüge der Differentialrechnung nur ganz kurz an einer Stelle auseinandergesetzt, ohne von ihr wesentlichen Gebrauch in seinem Werke zu machen. Mit stets zunehmender Heftigkeit hat der Streit bis zu Newtons Tode gedauert, ohne zu irgendeinem Ergebnis zu führen. Sehr richtig urteilt Rosenberger, daß die Nachwelt wohl mehr auf Seiten Leibniz' stehen wird. Newton hatte sich zu eigenem persönlichen Gebrauch eine der Differentialrechnung sich in den Grundzügen nähernde Rechnungsart, die Fluxionsrechnung, ausgearbeitet und davon nur so andeutungsweise und kurz Mitteilung gemacht, daß niemand viel damit anfangen konnte; von der Einführung einer neuen bedeutsamen Rechnungsart konnte keine Rede sein. Ganz anders Leibniz. Er hat in ganz bewußter Einsicht die Grundlehren der Differentialrechnung ohne irgendwelche Anlehnung an die Newtonsche Fluxionsrechnung aufgestellt, allgemein zugänglich gemacht, und zwar in einer Weise, daß bald andere Forscher die neue Methode aufnehmen, benutzen und weiter ausbilden konnten. Eine etwas ausführlichere Darstellung der Infinitesimalrechnung ist erst mehrere Jahre nach Newtons Tode 1736, aus drei verschiedenen Handschriften Newtons zusammengestellt, veröffentlicht worden.

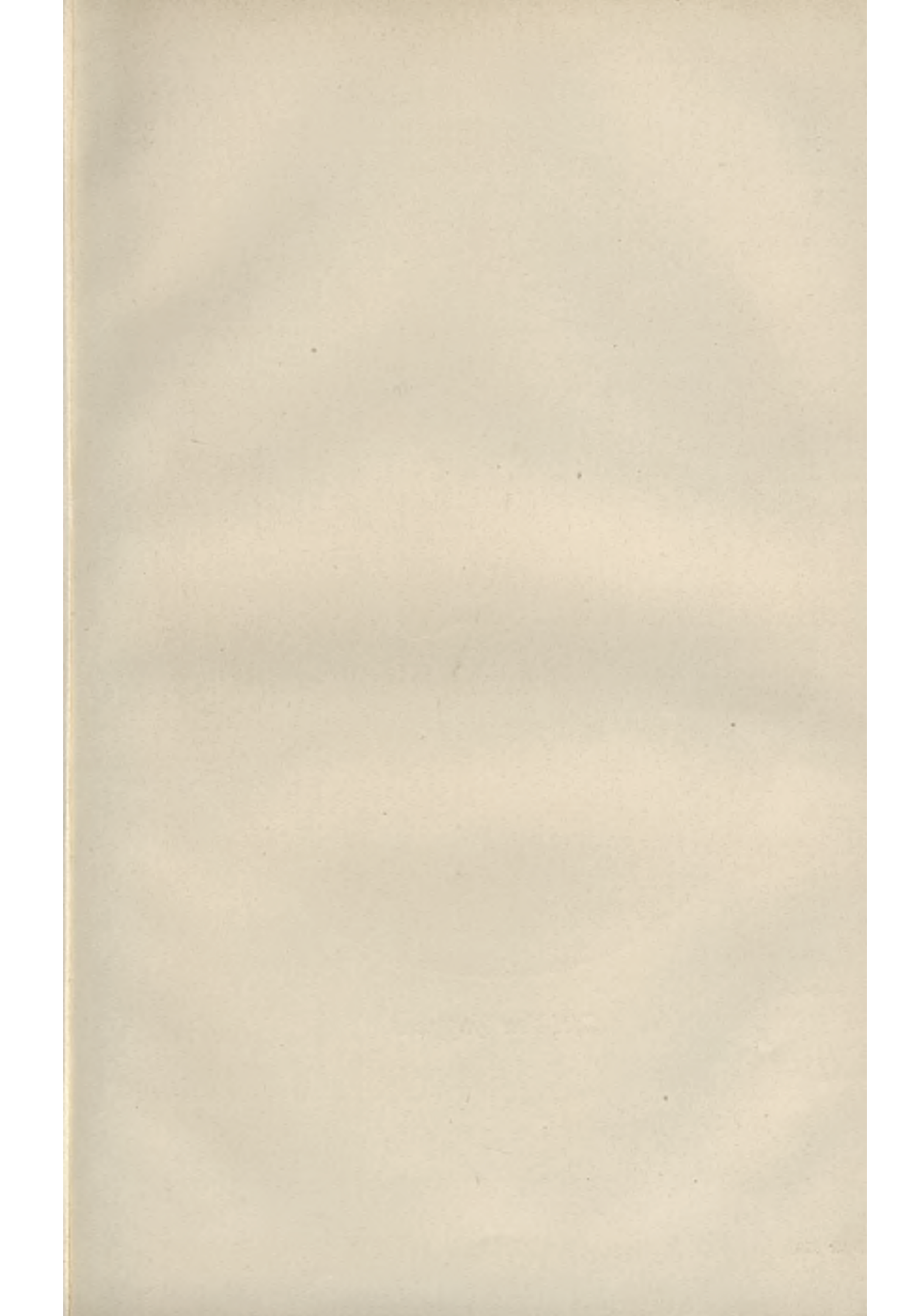
Newton war es vergönnt, sich seines Ruhmes und seines Einflusses seiner einzigartigen fürstlichen Stellung in der Wissenschaft viele Jahre erfreuen zu können; er erreichte das hohe Alter von 84 Jahren, noch bis kurz vor seinem Tode in verhältnismäßiger großer körperlicher und geistiger Regsamkeit.

Er starb am 20. März 1727. Was sterblich an ihm war, wurde in der Westminsterabtei mit fürstlichem Ehrengeränge beigesetzt. Seit dem Jahr 1731 erhebt sich dort sein von seinen Erben errichtetes Standbild mit einer pomphaften Inschrift.

Noch heute stehen wir bewundernd vor seinem Lebenswerk. Je weiter die kleinlichen Streitigkeiten, die ihm, nicht ohne seine Schuld, das Leben verbitterten und manche Stunde seines kostbaren Lebens in unfruchtbarem Gezänk raubten, hinter uns in die Nacht der Vergessenheit sinken, um so mehr erheben sich mit stets neuem Glanz die wissenschaftlichen Leistungen Newtons.

Wohl war er sich seines Wertes bewußt —, das Bewußtsein, das Gesetz gefunden zu haben, welches die Bewegungen der Weltkörper









*Christian Huygens*



regelt, gab ihm wohl das Recht dazu —, aber wir wissen auch einen schönen Ausspruch von ihm, der uns seine innere Bescheidenheit zeigt, mit dem wir diese kurze Darlegung von Newtons Leben und Wirken schließen wollen: „Ich weiß nicht, wie ich der Welt erscheine; aber mir selbst komme ich vor wie ein Knabe, der am Meeresufer spielt und sich damit belustigt, daß er dann und wann einen glatten Kiesel oder eine schöne Muschel findet, während der große Ozean der Wahrheit unerforscht vor ihm liegt.“

### III. Christian Huggens.

Christian Huygens steht in seinem Leben und in seinen Werken in einem ganz eigenartigen Parallelismus und gleichzeitigem Gegensatz zu seinem großen Zeitgenossen Isaac Newton. Beide haben auf den gleichen Gebieten, Mechanik, Mathematik, Optik gearbeitet, und jeder hat in ihnen Fundamentales geschaffen, aber beide gehen dabei von ganz verschiedenen Standpunkten aus und kommen zu zum Teil entgegengesetzten, einander ausschließenden Resultaten. Huygens schreibt in einer anmutigen, offenen, nichts verschweigenden Weise, gibt alle seine Gedanken dem Leser kund. Newton sucht möglichst die Wege zu verbergen, auf denen er seine Resultate erlangt hat, indem er sie nur in möglichst knapper und konzipierter, festgefügtter Form mitteilt. Damit steht in engem Zusammenhange, daß Huygens in oft freimütiger Art seine Kunde preisgibt, wenig auf seine Prioritäten Wert legt, während Newton eifersüchtig seine Prioritätsrechte wahrt und erbitterte Streite darum geführt hat, auch in Fällen, wo es zum mindesten recht fraglich ist, ob er im Recht war oder nicht.

Zu Lebzeiten beider Männer galt es als durchaus ausgemachte Tatsache, daß Newton bei weitem der bedeutendere sei. Und dieses Urteil blieb noch lange so bestehen. Langsam, aber deutlich sichtbar wandelt sich dieses Verhältnis der Wertschätzungen. Immer mehr heben sich die Verdienste Huygens' hervor, er scheint uns heute in seiner wissenschaftlichen Bedeutung Newton ebenbürtig zu sein. Die Holländer dürfen stolz auf diesen ihren Landsmann sein.

Schon Huygens' Vater, der Geheimschreiber bei dem Prinzen von Oranien war, zeigte hervorragende Begabungen. Besonders wird der Umfang seines Wissens und die Weite seiner Interessen gerühmt, die sich auf alle Gebiete menschlicher Tätigkeit erstreckte. Vor allem



hat er sich in der Literatur hervorgetan. Ihm wurde im Haag am 14. April 1629 ein Sohn Christian geboren, der der Stolz seines Vaterlandes werden sollte. Zusammen mit seinem älteren Bruder Konstantin wurde Christian von seinem Vater in den Anfangsgründen des Wissens unterrichtet. Er zeigte bald eine auffallende Begabung für Mathematik. Er hatte das Glück, auf der Universität Leiden, die er 16 Jahre alt, bezog, um Jura zu studieren, in seinem Lieblingsfach, der Mathematik, einen vortrefflichen Lehrer zu finden, van Schooten, der sofort die Fähigkeit seines Schülers erkannte und ihn auf jede Weise förderte, z. B. Descartes auf das junge Genie aufmerksam machte. Lehrer und Schüler kamen in ein enges Freundschaftsverhältnis, das auch nach Ablauf der Studienzeit des jungen Huygens bestehen blieb. Van Schooten verfolgte stets mit herzlicher Freude den wachsenden Ruhm seines Schülers. Nach zweijährigem Aufenthalt in Leiden setzte Huygens seine juristischen Studien in Breda fort. Es folgten, der Sitte der Zeit entsprechend, längere Reisen nach Dänemark, Frankreich und England. 1665 erlangte er durch den steigenden Ruhm, den ihm seine mannigfachen Schriften und Entdeckungen eintrugen, eine seiner Bedeutung entsprechende Stellung. Er wurde von Colbert, dem Minister Ludwigs XIV., nach Paris berufen als Mitglied der eben begründeten französischen Akademie der Wissenschaften. Es war eine äußerst ehrenvolle mit einem großen Gehalt und freier Wohnung verbundene Stellung. Ganz der Wissenschaft lebend, brachte er hier 15 arbeitsvolle, aber auch in hohem Maße erfolgreiche Jahre zu, bis er 1681 nach der Aufhebung des Edikts von Nantes in seine Vaterstadt zurückkehrte, um sie, abgesehen von einigen Reisen, nicht wieder zu verlassen. Unablässig war er auch hier wissenschaftlich tätig, bis ihn der Tod am 8. Juni 1695 ereilte und das stille nur der Wissenschaft gewidmete Leben beendete.

Zwei Gebiete sind es vor allem, auf denen Huygens Großes und Unvergängliches geleistet hat: die Mechanik und die Optik. In beiden hat er fundamental neue originelle Gedanken entwickelt, und zwar in einer Form, in der sie noch heute nach mehr als 200 Jahren zum großen Teil mustergültig sind und gelehrt werden.

Seine Arbeiten über Fragen der Mechanik ziehen sich über sein ganzes Leben hin. Wir wollen sie des Zusammenhanges wegen gemeinsam betrachten. Die wesentliche Natur der von Huygens in der Mechanik erreichten Fortschritte über das von Galilei Erreichte hinaus,



ist wohl am besten von E. Mach in seinem vortrefflichen Buch: „Die Mechanik in ihrer Entwicklung“ dargestellt worden; seine Erörterungen liegen auch den folgenden Zeilen vielfach zugrunde.

Die Höhepunkte seiner Leistungen auf diesem Gebiete, die in seinem Hauptwerk: „Die Pendeluhr“ (*Horologium oscillatorium*, Paris 1673) enthalten sind, sind unstreitig seine Aufstellung des Gesetzes für die Zentrifugalkraft und der Lehre vom Schwingungsmittelpunkt in sogenannten physischen Pendeln, d. h. Körpern, die nicht wie das bis dahin allein betrachtete mathematische Pendel einen einzigen Massenpunkt enthalten, sondern wie es ja der wirklichen Natur allein entspricht, aus sehr vielen Massenpunkten zusammengesetzt sind, die miteinander starr verbunden sind und sich um einen Aufhängepunkt drehen. In beiden Problemen knüpft er an Galilei unmittelbar an.

Das Trägheitsgesetz, wie es von Galilei zwar nicht direkt ausgesprochen wurde, aber in seinen Schriften so vorbereitet lag, daß es ihnen ohne Mühe entnommen werden konnte, sagte aus, daß ein Massenpunkt, allen äußeren Einwirkungen entzogen, sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit in gerader Bahn in der ursprünglichen Richtung weiter bewegt. Es war damit ein großer Fortschritt gegen die Überlieferung, gegen die Lehre des Aristoteles, gewonnen. Hiernach sollte die Bahn, die ein sich selbst überlassener Körper beschreibt, nicht die gerade Linie, sondern eine Kreisbahn sein. Daß dieses die natürlichste Bewegung eines Körpers sein sollte, entnahm man der kreisförmigen Bewegung der Sonne um die Erde. Es gehörte die ganze geistige Kraft eines Galilei dazu, sich von dieser Anschauung freizumachen und eine gänzlich andere an die Stelle zu setzen. Nach den von Galilei geschaffenen Vorstellungen muß in dem Fall, daß ein Punkt eine Kreisbahn beschreibt, die also eine fortwährende Abweichung von der geradlinigen Bewegung bedeutet, auch fortwährend eine Beschleunigung vorhanden sein, die es bedingt, daß der Punkt von der geradlinigen Bahn abweicht, die ihn an und für sich ja fortwährend von dem Mittelpunkt des Kreises entfernen würde. Diese Beschleunigung muß offenbar nach jenem Mittelpunkt hin gerichtet sein. Indem man diese Beschleunigung nach Galilei als Ausfluß einer Kraft ansieht, kann man also sagen, daß vom Mittelpunkt aus fortwährend eine Kraft auf den betrachteten Punkt ausgehen muß, die ihm eine ständig nach dem Mittelpunkt hin gerichtete Beschleunigung erteilt, also, wie man kurz sagt, eine Zentripetalkraft. Es handelt



sich nun darum, die Größe dieser Zentripetalkraft durch die gegebenen Elemente der Kreisbahn auszudrücken, nämlich der konstanten Geschwindigkeit, mit der sich der Punkt auf der Kreisperipherie bewegen soll, und den Radius des Kreises. Diese Aufgabe löste Huygens. Er fand, daß ein Punkt von der Masse  $m$  sich mit konstanter Geschwindigkeit  $v$  auf einem Kreise vom Radius  $r$  bewegt, wenn auf ihn eine stets nach dem Mittelpunkt gerichtete Kraft wirkt von der Größe  $m \frac{v^2}{r}$ .

Zu dem Begriff einer Zentrifugalkraft, die also vom Mittelpunkt fort gerichtet ist, gelangt man etwa auf folgende Weise. Denken wir uns einen Stein, der an einem Ende einer Gummischnur befestigt ist, deren anderes Ende fest liegt, etwa mit der Hand gehalten wird. Nun werde plötzlich der Stein in eine Geschwindigkeit versetzt, die die Richtung der Tangente hat, die man in ihm an den Kreis vom Radius gleich der Länge des Fadens ziehen kann. Wäre gar keine Verbindung mit dem Mittelpunkt vorhanden, so würde er sich nach dem Trägheitsgesetz einfach mit der konstanten ihm erteilten Geschwindigkeit in Richtung der Tangente weiterbewegen, also vom Mittelpunkt entfernen. Die Entfernung vom Mittelpunkt würde sich also ständig vergrößern, und zwar wie leicht zu berechnen, nicht proportional der Zeit, sondern beschleunigt. Es würde mithin ein im Mittelpunkt stehender Beobachter, der nichts von der durch Drehung erteilten Tangentialgeschwindigkeit weiß, in dieser Tatsache, daß sich der Abstand vom Mittelpunkt ständig in beschleunigtem Maße vergrößert, den Einfluß einer diese Beschleunigung bewirkenden, ständig vom Mittelpunkt fort wirkenden Kraft erblicken, also eine Zentrifugalkraft. Wie man sieht, ist es nur eine scheinbare Kraft, in Wirklichkeit nur eine Äußerung des Trägheitsgesetzes.

Ist nun aber, wie angenommen sei, der Punkt, hier als Stein gedacht, an den Mittelpunkt durch eine dehnbare Schnur gebunden, so wird sich diese scheinbare Zentrifugalkraft darin äußern, daß sie den Faden dehnt; es entsteht hierdurch eine elastische Gegenkraft, die den Stein zurück nach dem Mittelpunkt zieht, eine Zentripetalkraft. Nach dem Gesetz von Wirkung und Gegenwirkung sind Zentripetalkraft und Zentrifugalkraft einander stets gleich und entgegengesetzt. Der Faden wird also mit einer bestimmten Kraft gespannt. Man könnte ihm, auch ohne daß eine drehende Bewegung stattfindet, dieselbe Spannung erteilen. Man müßte aber dann eine der Zentrifugalkraft gleiche



spannende Kraft auf andere Weise, etwa durch ein am Ende angehängtes Gewicht, auf den Faden wirken lassen. Man kann also auch von der drehenden Bewegung selbst absehen und ihre Wirkung durch die fingierte Zentrifugalkraft ersetzen.

Nach sieht mit Recht die unstreitige begriffliche Schwierigkeit, die hier vorliegt, und Anfängern gelegentlich Mühe macht, darin, daß es zunächst etwas Paradoxes hat, daß eine fortwährend gegen das Zentrum hin gerichtete Beschleunigung doch keine wirkliche Annäherung an den Mittelpunkt herbeiführt und daß die Geschwindigkeit konstant bleibt. Um so höher müssen wir die Leistung Huygens' schätzen, der solche begrifflichen Schwierigkeiten überwand.

Auf den von Huygens angegebenen Ausdruck für die Größe der Zentrifugalkraft stützte sich dann Newton bald darauf bei seiner Erweiterung der Gravitation von der Oberfläche der Erde in den Weltraum hinaus. Der Mond beschreibt ja ebenfalls eine Kreisbahn um die hierbei als feststehend zu denkende Erde. Es muß also eine nach dem Erdmittelpunkt gerichtete Zentripetalbeschleunigung vorhanden sein, die immer wieder die gleichförmige Geschwindigkeit des Mondes auf seiner Kreisbahn um die Erde aufrechterhält. Newtons Hypothese ging dahin, daß diese Kraft gegeben sei als Folge derselben Anziehung, die die Erde an ihrer Oberfläche ausübt. Newton zeigte, daß tatsächlich Übereinstimmung mit der Erfahrung besteht, wenn man die Annahme macht, daß die Gravitation umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung wirkt. Um aber die Rechnung durchführen zu können, mußte der Ausdruck für die Zentrifugalkraft bekannt sein.<sup>1)</sup> In dem Werk „Horologium oscillatorium“ ist nur die Formel für die Zentrifugalkraft mitgeteilt; der Beweis und nähere Ausführungen sind in dem erst nach seinem Tode erschienenen Aufsatz: *Tractatus de vi centrifuga* (Über die Zentrifugalkraft) enthalten.

Vielleicht noch genialer als in der Aufstellung des Ausdruckes für die Zentrifugalkraft zeigt sich Huygens bei der Ableitung der Gesetze des physischen aus Massenpunkten zusammengesetzten Pendels, indem er hierbei ein neues Naturgesetz aufstellt und zu Hilfe zieht, das nichts anderes besagt, als die Unmöglichkeit des perpetuum mobile. Es gelang ihm so die Lösung des Problems, an dem sich schon viele Mathematiker vergebens bemüht hatten.

1) Siehe hierzu die Anmerkung 15) der Gedenkrede Boschas auf Huygens.



Der Gedankengang, der ihn zur Lösung führte, ist etwa folgender. Denken wir uns ein vertikal herabhängendes Brett; durch ein Loch desselben ist ein Stift horizontal gesteckt, der die Drehachse darstellt. Die Massenpunkte des Brettes sind alle starr miteinander verbunden. Denken wir sie uns nun aber alle aus ihm voneinander gelöst und nur noch mit dem Aufhängepunkt fest verbunden, so löst sich das ganze physische Pendel auf in eine große Menge von einzelnen mathematischen Pendeln, die unabhängig voneinander schwingen, und deren Schwingungsgesetze als bekannt angenommen werden können. Je nach dem Abstand des Punktes vom Drehpunkt, werden diese eine verschiedene Schwingungsdauer haben. Es ist nun von vornherein klar, daß die Schwingungsdauer des physischen Pendels, das aus den vorigen mathematischen entsteht, wenn wieder alle Punkte in ihren starren Zusammenhang gebracht werden, irgendeinen mittleren Wert hat zwischen jenen der einzelnen mathematischen Pendel. Es muß in dem physischen Pendel einen bestimmten Punkt geben, der als mathematisches Pendel eine ebenso große Schwingungsdauer hat, wie das wirkliche zusammengesetzte physische Pendel. Dieser Punkt heißt Schwingungsmittelpunkt. Kann man aus den anderen Abmessungen des physischen Pendels diesen Schwingungsmittelpunkt angeben, so ist damit auch die Frage nach der Schwingungsdauer des physischen Pendels gelöst.

Dieses Problem bezwang zuerst Huygens, und zwar durch Aufstellung eines von ihm als selbstverständlich nicht weiter begründeten Prinzipes, welches besagt, daß, wie auch die Massen des Pendels ihre gegenseitigen Bewegungen ändern mögen, immer die bei der Abwärtsbewegung des Pendels entstehenden Geschwindigkeiten solche sind, daß beim Aufwärtssteigen der Schwerpunkt genau ebenso hoch steigt, als er zu Anfang gewesen war, mögen nun die Massenpunkte des Pendels dabei starr verbunden bleiben, oder plötzlich voneinander gelöst werden, so daß eine Austrennung in lauter einzelne mathematische Pendel erfolgt. Zur Erläuterung fügt er hinzu: „Um jeden Strupel zu entfernen, will ich zeigen, daß das nichts anderes besagen will, als daß, was wohl niemand je leugnen wird, kein Körper von selbst sich aufwärts bewegt.“ Man könnte nämlich, wenn wirklich der Schwerpunkt nach Auflösung des Zusammenhanges der Massen höher stiege als er gesunken ist, schwere Körper durch ihr eigenes Gewicht durch Wiederholung des Prozesses beliebig hoch heben. Käme aber



der Schwerpunkt niedriger, so könnte man dasselbe durch den umgekehrten Prozeß erreichen. Und schließlich fügt Huygens noch hinzu, daß sich dieses Prinzip auch noch auf fast alle anderen mechanischen Theorien anwenden ließe, und bricht dann mit dünnen Worten den Stab über das Problem des perpetuum mobile, einer Maschine, die Arbeit aus nichts erzeugen soll. „Verständen die Erbauer neuer Maschinen, die sich mit dem perpetuum mobile abplagen, dieses Prinzip anzuwenden, so würden sie wohl die Unsinnigkeit ihres Bemühens einsehen und erkennen, daß eine solche Maschine schlechterdings unmöglich ist.“

E. Mach bemerkt mit Recht, diese Hypothese bringe eigentlich nur etwas, was schon jeder instinktiv gefühlt habe, aber das große Verdienst Huygens' bestehe eben darin, diese instinktive Erkenntnis begrifflich verwertet zu haben. Übrigens haben wir schon bei Galilei eine ganz analoge Überlegung gefunden (S. 15).

Wie Huygens nun auf Grund seiner Hypothese den Schwingungsmittelpunkt findet, kann hier nicht ausgeführt werden.

Dasselbe Prinzip benutzt Huygens auch bei der Ableitung der Gesetze des vollkommen elastischen Stoßes.

Fast gleichzeitig ist die Ableitung der Stoßgesetze von drei Forschern in Angriff genommen worden; 1668 gab Wallis die Gesetze des unelastischen, Wren die Gesetze des vollkommenen elastischen Stoßes an. Im folgenden Jahre erschien Huygens' erste kurze Mitteilung der Stoßgesetze ohne Beweise. Diese sind erst in einer nach seinem Tode, 1703, erschienenen Abhandlung enthalten. Von diesen drei Abhandlungen ist diejenige von Huygens unstreitig die bedeutendste. Die Formeln Wrens sind zwar richtig, aber mehr erraten als bewiesen. Huygens leitet die Gesetze des vollkommen elastischen Stoßes mit großer Eleganz ab, indem er von zwei neuen Grundsätzen ausgeht. Der erste ist die Annahme, daß für die Stoßgesetze nur die relative Bewegung der beiden Körper gegeneinander maßgebend ist, der zweite ist das auch schon bei der Herleitung der Schwingungsdauer des physischen Pendels benutzte Prinzip, daß ein System von Massen, das der Schwere unterworfen ist, nicht von selbst seinen Schwerpunkt höher legen kann. Es kommt dieses hier im wesentlichen auf das Gesetz von der Erhaltung der Energie hinaus. Implizite ist in jener Abhandlung auch das heute als Prinzip der Erhaltung der Bewegungsgröße bezeichnete Gesetz enthalten. Es ist diese Ableitung der Stoßge-



lebe eines der schönsten und instruktivsten elementaren Beispiele dafür, wie man mit Hilfe allgemeiner Prinzipien der Mechanik den Effekt von Vorgängen zu berechnen imstande ist, deren Einzelheiten außerordentlich kompliziert und einer mathematischen Analyse schwer zugänglich sind, wie es ja gerade beim Stoß der Fall ist.

Die Diskussion der Formeln, zu denen er gelangt, führte ihn auch zu allgemein interessanten Folgerungen. So beweist er z. B., daß die Geschwindigkeit, die ein ruhender Körper durch den Stoß mit einem anderen mit bestimmter Geschwindigkeit erhält, größer ist, wenn dieser Stoß durch Vermittlung eines Körpers von mittlerer Größe erfolgt, der zuerst von dem bewegten Körper gestoßen wird und dann auf den ruhenden stößt, als wenn der Stoß direkt erfolgt.

Haben die eben besprochenen Leistungen Huygens' für die Entwicklung der theoretischen Mechanik eine ganz besonders weitgehende Bedeutung, so hat eine andere Leistung auf dem Gebiete der Mechanik eine vornehmlich praktische Wichtigkeit erlangt, die seinen Namen schon zu seinen Lebzeiten in weiten Kreisen berühmt gemacht hat. Es sind dies die Verdienste, die er sich um die Verbesserung der Zeitmessung durch Erfindung der Pendeluhr erworben hat.

Die Uhren, die man bis dahin hatte, sind die sogenannten „Waaguhren“. Die „Waag“, entsprechend der „Unruhe“ in den Taschenuhren, ist ein um eine senkrechte Achse hin- und herschwingender Stab. Die Achse trägt zwei Schaufeln, die abwechselnd in die Zähne des sogenannten „Kronrades“ eingreifen, welches durch ein sinkendes Gewicht in Drehung versetzt wird. Durch die Verbindung vom Kronrad mit der Waag nebst deren Achse und Schaufeln wurde ein annähernd gleichmäßig gehender Gang dadurch erreicht, daß die Drehung des Kronrades immer nach gleichen kurzen Zeitintervallen beim jeweiligen Eingreifen der Schaufeln der hin- und hergehenden Waag gehemmt wird und von neuem beginnt. Die ursprünglichen Ausführungen hatten den Fehler, daß die Waag nicht von selbst zurückschwingt, sondern immer erst durch den Gegenstoß an der anderen Schaufel zur Umkehr gebracht wird, was die Regelmäßigkeit des Ganges stark beeinträchtigt.

So gut die bis dahin benutzten „Waaguhren“ im allgemeinen für die mäßigen Ansprüche des täglichen Lebens zu brauchen waren, so ließen sie doch an Genauigkeit für wissenschaftliche Zwecke viel zu wünschen übrig. Das beste Zeitmaß blieb das gewöhnliche einfache Pendel,



das ja nach Galileis Beobachtung die Eigenschaft des Isochronismus besitzt, d. h. in der Schwingungsdauer unabhängig von der Schwingungsweite ist. Bei astronomischen Messungen eines Zeitintervalles wurde daher öfters tatsächlich die Anzahl der in ihm erfolgenden Pendelschwingungen gezählt, natürlich ein äußerst mühsames Verfahren. Huygens' Verdienst ist es nun, in den Uhren die „Waag“ durch das Pendel zu ersetzen, und dadurch die Genauigkeit der Zeitmessung und die Zuverlässigkeit des ganzen Uhrmechanismus außerordentlich zu erhöhen. Nur geringfügig, aber überaus erfolgreich sind die Änderungen, die Huygens an der Waaguhr anbrachte. Das Kronrad wurde horizontal gelegt, ebenso die Achse der „Waag“, deren beide Schaufeln in die Zähne des Kronrades hemmend eingreifen. Die Achse der „Waag“ ist mit einer Gabel verbunden, die das vertikal schwingende Pendel umfaßt und zum Weiterschwingen veranlaßt. Infolge der Gleichmäßigkeit der Pendelschwingungen ist nun die Regelmäßigkeit des Ganges solcher Pendeluhren eine vorzügliche.

Erwähnt sei, daß schon 15 Jahre vor Huygens der greise erblindete Galilei 1641 eine im Prinzip der Huygensschen gleiche Pendeluhr erfunden hat. Da jedoch Galileis Sohn, der nach des Vaters Tode die Uhr ausführen sollte, bald darauf starb, geriet die ganze Angelegenheit in Vergessenheit, so daß die Pendeluhr von Huygens, ganz unabhängig von Galilei, zum zweiten Male erfunden wurde.

Die Beschäftigung mit dem Uhrenwesen gab Huygens Anlaß zur Berechnung der Kurve, welche die für die Pendeluhr offenbar höchst wichtige Eigenschaft hat, daß ein längs ihr fallender Körper stets die gleiche Zeit braucht, um den tiefsten Punkt zu erreichen, von welchem Punkt der Kurve er auch zu fallen beginnt; man nennt diese Kurve die Tautochrone oder Isochrone. Huygens zeigte, daß diese Kurve eine sogenannte Zyfloide ist, das ist diejenige Kurve, die z. B. ein Punkt eines rollenden Rades beschreibt. Galilei hatte geglaubt, daß der Kreis eine solche Kurve sei, daß also das Kreispendel die Bedingung des Tautochronismus vollständig exakt erfüllt. Dies war ein Irrtum. Beim Kreispendel ist der Isochronismus nur bei nicht zu großen Ausschlägen annähernd erfüllt.

Huygens tat aber noch mehr. Könnte man bewirken, daß der Endpunkt eines mathematischen Pendels wirklich sich stets auf einem Zyfloidenbogen bewegt, so hätte man ja das gesuchte Ideal eines Pendels. Huygens zeigte nun, daß man dies erreichen kann, wenn man



ein Sadenpendel zwischen zwei sich berührenden Zylindern von zyfloïdischer Basis aufhängt. Die Länge des Pendels muß der Hälfte eines Zyfloidentails gleich sein. In diesem Fall schwingt der Massenpunkt des Pendels, dessen Saden sich also dabei auf den Zyfloiden abwickelt, wirklich, wie Huygens beweist, wieder auf einer der gegebenen kongruenten Zyfloide. Ein solches Pendel hat also immer dieselbe Schwingungsdauer, wie groß auch die Amplitude ist. Die hierher gehörenden mathematischen Untersuchungen Huygens' zählen zu den schönsten, die er angestellt hat.

Wie Newton, so hat auch Huygens die Erkenntnis der Lichterscheinungen im weitesten Grade gefördert. Die „Abhandlung über das Licht“ (1768) ist noch heute grundlegend für die Theorie der in ihr behandelten Erscheinungen. Es wird in ihr zum ersten Male die Wellenlehre des Lichtes präzise aufgestellt, begründet und ihre Anwendung auf verschiedene Probleme dargetan.

Bewußt stellt er seine Lehre der Newtonschen Emissionstheorie des Lichtes entgegen, die annahm, die Lichtempfindung werde in uns dadurch erregt, daß von dem leuchtenden Körper kleine Partikeln, die Lichtkörperchen, mit großer Geschwindigkeit ausfliegen, die in uns die Lichtempfindung hervorbringen, wenn sie das Auge treffen. Er sagt: „Wenn man die außerordentliche Geschwindigkeit, mit welcher das Licht sich nach allen Richtungen hin ausbreitet, beachtet und erwägt, daß, wenn es von verschiedenen, ja selbst von entgegengesetzten Stellen herkommt, die Strahlen sich einander durchdringen, ohne sich zu hindern, so begreift man wohl, daß wenn wir einen leuchtenden Gegenstand sehen, dies nicht durch die Übertragung einer Materie geschehen kann, die von diesem Objekt bis zu uns gelangt, wie etwa ein Geschloß oder ein Pfeil die Luft durchfliegt; denn dies widerstreitet doch zu sehr diesen beiden Eigenschaften des Lichtes und besonders der letzteren. Es muß sich demnach auf eine andere Weise ausbreiten, und gerade die Kenntnis, welche wir von der Fortpflanzung des Schalles in der Luft besitzen, kann uns dazu führen, sie zu verstehen.“

In Analogie zum Schall, der ja schon als eine Wellenbewegung in der unsichtbaren und ungreifbaren Luft erkannt war, stellt er die Hypothese auf, daß auch das Licht in einer Wellenbewegung bestehe, die sich mit endlicher Geschwindigkeit von Ort zu Ort fortpflanzt. Nur kann der Stoff, in dem diese Wellenbewegung vor sich geht, nicht die gewöhnliche Materie sein, da das Licht sich auch durch den von Materie



freien Raum fortpflanzt, namentlich also von der Sonne durch den leeren Weltraum zur Erde. Es muß ein anderes feineres Medium sein, der Äther. Vermöge seiner Elastizität können in ihm Wellen entstehen und sich fortpflanzen, die das ausmachen, was wir Licht nennen.

Es folgt nun eine Darlegung eines überaus fruchtbaren Gedankens, der in dem heute nach ihm benannten Huygensschen Prinzip gipfelt. Huygens sucht nämlich genauer in den Mechanismus der Wellenbewegung einzudringen und eine Regel zu finden, nach der man sich leicht darüber orientieren kann, wie sich eine Welle weiter ausbreitet. Diese Regel, heute „das Huygenssche Prinzip“ genannt, gründet Huygens auf die Erfahrungen und Gesetze, die an dem Stoß von Teilchen gewöhnlicher Körper gegeneinander gewonnen sind. Die Gültigkeit des Prinzipes ist aber hiervon ziemlich unabhängig.

Denken wir uns etwa, um einen grobsinnlichen Vergleich anzuwenden, den ganzen Weltraum angefüllt mit kleinsten Ätherteilchen, die aber nicht frei sind, sondern von denen jedes mit allen seinen Nachbarteilchen durch elastische Säden verknüpft ist. Gerät eines dieser Teilchen in eine schwingende, zitternde Bewegung, so wird diese Bewegung vermöge der elastischen Verbindung auch die Nachbarteilchen ergreifen und in Bewegung versetzen. Jedes der so in Bewegung begriffenen Teilchen kann nun ebenso betrachtet werden wie das erste. Vermöge des elastischen Zusammenhanges mit seinen Nachbarn wird es ebenfalls diese in Bewegung versetzen, als neues selbständiges Erregungszentrum einer Wellenbewegung tätig sein; und in dieser Weise ist die Überlegung fortzusetzen. Es wird also jeder von einer Lichterschütterung getroffene Punkt Ausgangspunkt von neuen elementaren Lichtwellen. Ist die Fläche auf irgendeine Weise bekannt, bis zu der sich das Licht zu einer bestimmten Zeit fortgepflanzt hat, so hat man, um zu erfahren, wie sich die Welle weiterhin gestaltet, jeden der Punkte der ersten Fläche als Erschütterungszentrum einer für sich bestehenden Wellenerregung zu betrachten. Da in einem Medium, das nach allen Richtungen hin sich ganz gleichmäßig verhält, natürlich auch die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Wellenbewegung nach allen Seiten dieselbe ist, so liegen die Punkte, bis zu der sich die Lichterschütterung nach bestimmter Zeit fortgepflanzt hat, auf einer Kugelfläche, um das Erschütterungszentrum als Mittelpunkt. Um alle Punkte der ersten Fläche hat man nun nach Huygens eine solche Kugelfläche von gleichem Radius zu konstruieren. Es ist evident, daß es eine Fläche



gibt, die die äußersten Punkte, bis zu der diese Elementarerschütterungen hingelangt sind, eben berührt, einhüllt. Huygens macht nun die Hypothese, daß diese einhüllende Fläche wirklich diejenige Fläche ist, bis zu der hin die Lichterschütterung sich fortgepflanzt hat. Hat man einen Lichtpunkt in einem allseitig gleichen Medium, so ergeben sich offenbar immer Kugelflächen für diese einhüllenden Flächen, ein Resultat, das von vornherein einleuchtet und wozu das Huygenssche Prinzip nicht nötig gewesen wäre. Es entfaltet erst in komplizierten Fällen, wo die Anschauung im Stich läßt, wenn die Ausbreitung nicht ungestört erfolgt, seine volle Bedeutung. Huygens konnte auf Grund dieses Prinzipes sofort die Erklärung der geradlinigen Fortpflanzung, der Gleichheit von Einfallswinkel und Reflexionswinkel und das Snelliussche Brechungsgesetz ableiten. Auf Grund des Huygensschen Prinzipes sieht man diese Sätze fast ohne jede Rechnung ohne weiteres ein. Es ist der beste Führer, um bei verwickelten Verhältnissen der Lichtbewegung sich wenigstens einen ungefähren Überblick über das zu Erwartende zu verschaffen.

In der Form, in der Huygens das Prinzip aussprach, war es nicht ganz vollständig. Fresnel hat später angegeben, in welcher Weise das Prinzip ergänzt werden muß, um die Erfahrung vollständig wiederzugeben. Kirchhoff gab schließlich den strengen mathematischen Beweis. Es kann natürlich der Genialität Huygens' keinen Abbruch tun, wenn sein Prinzip noch einiger Dervollkommnungen bedurfte.

Enthielte die „Abhandlung über das Licht“ nur die Aufstellung der Undulationstheorie und des Huygensschen Prinzipes, so wäre sie schon ein bewunderungswürdiges Denkmal ihres Urhebers. Aber ihr Inhalt birgt noch eine weitere staunenswerte Leistung, die Aufklärung der merkwürdigen und komplizierten, wenige Jahrzehnte vorher von Bartholinus entdeckten Erscheinungen der Doppelbrechung des Lichtes im Kalkspat. Huygens zeigte, daß sich alle Erscheinungen der Doppelbrechung erklären lassen, wenn man annimmt, daß die Wellenfläche, d. h. die Fläche, bis zu der sich die Luftbewegung von einem Punkte in der Zeiteinheit fortpflanzt, und die natürlich für nicht kristallinische Körper eine Kugel ist, für Kalkspat aus zwei Flächen besteht, einer Kugel und einem die Kugel umgebenden, sie nur in zwei gegenüberliegenden Punkten berührenden Rotationsellipsoid. Die Erscheinungen sind so kompliziert, daß es Anfängern zunächst stets Mühe macht, sich in sie hineinzuversetzen und zu ihrem vollen Verständnis durchzu-



dringen. Um so mehr erweckt Huygens' Genie Erstaunen, das hier die Wege nicht nur gewiesen, sondern auch sofort mit unübertrefflicher Klarheit auseinandergesetzt hat.

Aber noch nicht genug damit. In jener Abhandlung über das Licht berichtet er noch über eine seltsame weitere Erscheinung, die er am Kalkspat beobachtete. Tritt ein Lichtstrahl in Kalkspat, so wird er in zwei Strahlen zerlegt, die im allgemeinen in verschiedener Richtung den Kristall durchlaufen. Es treten also zwei voneinander getrennte Strahlen aus. Huygens fand nun, daß die austretenden Strahlen nicht mehr in je zwei zerlegt werden, wenn man sie durch einen zweiten gleichgelegenen Kalkspat schickt, sondern daß nun jeder Strahl sich in dem zweiten Kalkspatstück nur als ein Strahl sich fortpflanzt, so daß aus dem zweiten Kalkspat nicht, wie man erwarten sollte, vier Strahlen austreten, sondern nur zwei. Es gelang Huygens nicht, für diese Entdeckung, die sein Beobachtungstalent in hellem Lichte zeigt, eine ihn befriedigende Erklärung zu finden. Er sagt: „Man scheint zu dem Schlusse gezwungen zu sein, daß die Lichtwellen infolge des Durchganges durch den ersten Kristall eine gewisse Gestalt oder Anordnung erlangen.“ Welcher Art diese Anordnung sei, vermag er nicht anzugeben. Huygens hatte hiermit die ersten Erscheinungen eines Gebietes der Optik gefunden, das später von großer Bedeutung für die Erkenntnis des Wesens des Lichtes geworden ist, nämlich der sogenannten Polarisation des Lichtes, aus denen man den Schluß ziehen muß, daß das Licht nicht wie der Schall eine longitudinale, sondern eine transversale Wellenbewegung ist, bei der also die Schwingungsrichtung der Teilchen auf der Strahlrichtung senkrecht steht, so daß an einem Lichtstrahl seitliche Verschiedenheiten vorhanden sein können, je nach der Lage der Schwingungsrichtung des Teilchens. Über 130 Jahre hat es gedauert, bis man der Erklärung der von Huygens gefundenen Erscheinung auf die Spur kam.

Wir haben bisher die Gipfelpunkte von Huygens' Schaffen kennen gelernt, die Taten, durch die er der Wissenschaft neue Bahnen und Wege gewiesen, sie mit neuem Leben erfüllt hat. Noch eine Säule von Entdeckungen und Betrachtungen, die man ihm verdankt, bliebe zu besprechen. Es mag nur noch auf einige Leistungen hingewiesen werden, die allein genügen würden, ihm für immer einen hervorragenden Platz unter den Förderern der Naturerkenntnis zuzuweisen.

Die Mathematik bereicherte er durch eine Abhandlung über Wahr-



scheinlichkeitsrechnung, mit Anwendung auf Glücksspiele, ihr so ein ganz neues Gebiet eröffnend. Die Vereinigung von manueller Geschicklichkeit mit feiner Beobachtungsgabe führte ihn zu bedeutenden astronomischen Entdeckungen. Die bis dahin seit Galilei gebauten Fernrohre waren an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit angelangt, namentlich mangels guter Glaslinsen. Huygens befaßte sich selbst mit der Kunst des Glasschleifens und brachte es darin so weit, daß er ein wesentlich besseres Fernrohr konstruieren konnte. Mit diesem entdeckte er eines der merkwürdigsten, vielleicht das seltsamste Gebilde, das die Sternenwelt uns bietet, den Ring des Saturn. Andeutungen davon hatte schon Galilei gesehen, der den Saturn als „dreigestaltig“ beschrieb (siehe S. 19). Man kann sich leicht vorstellen, welche Überraschung diese Entdeckung machte; noch heute macht ja der Ring des Saturn auf jeden, der ihn das erstemal sieht, einen gewaltigen Eindruck.

Nur im Gluge können wir die Großtaten Huygens' an uns vorüberziehen lassen, ohne bei ihnen zu verweilen. Sein Name ist aufs engste mit der Erfindung der Dampfmaschine verbunden. Er hat selbst eine Maschine gebaut, die der heutigen Gasmachine verwandt ist; sie wurde mit Schießpulver getrieben. Papin war hierbei sein Gehilfe. Dieser hat sich dann, den bei Huygens gewonnenen Anregungen folgend, später als Professor in Marburg mit Änderungen dieser Maschine beschäftigt; namentlich durch Einführung von Wasserdampf statt des Schießpulvers. Huygens ist auch das erste Buch Papins gewidmet.

Huygens' Genie zeigt sich auch in der Weite seiner Interessen. Überall zeigt sich ihm Interessantes in Hülle und Fülle. Bei der Sektion einer Leiche betrachtet er das Auge. Er findet, daß die Linse ein weicher deformierbarer Körper ist, eine Tatsache, die wohl schon vor ihm bekannt war. Aber ihm taucht sofort die Vermutung auf, daß die Akkommodationsfähigkeit des Auges seinen Grund darin habe, daß wir fähig sind, die Krümmung der Augenlinse willkürlich zu ändern, da sie eben weich ist. Den Schluß dieser kleinen Auswahl aus Huygens' Leistungen möge ein Hinweis auf die Ansichten bilden, die Huygens in der Abhandlung „de l'aimant“ über die Art der von Magnetpolen ausgehenden Kraftwirkung ausspricht. Sie sind deshalb von hervorragendem Interesse, weil sie im Prinzip schon auf fast 200 Jahre später von Faraday verfochtene Anschauungen von dem wesentlichen Anteil, den das umgebende Medium an den Erscheinungen des Magnetismus hat,



hinauskommen. Er sagt: „Aus dem Versuch mit Eisenfeile, die auf einem Kartonblatt über einen Magnet ausgestreut wird, geht hervor, daß irgendein Stoff durch und außen um den Magnetstein strömt, denn die Anordnung der Eisenfeile zeigt den Weg dieser Bewegung an; die Eisenfeile wird dadurch beeinflusst, was nicht anders möglich ist, als durch die Wirkung irgendeines in Bewegung begriffenen Körpers.“ (Zitiert nach der Gedenkrede von Boscha.) Es ist ein weiter Weg, den die Wissenschaft von da über Faraday, Maxwell und Herz genommen hat, bis diese Ahnungen glänzende Erfüllung gefunden haben!

Sogar das Coulombsche Gesetz der Kraftwirkung, die zwei Magnetpole aufeinander ausüben, machte Huygens auf Grund seiner Anschauungen von der Vermittlung durch das Zwischenmedium anschaulich. Er lehnte die Fernwirkung hier ebenso ab, wie er sie bei der Gravitation leugnete, wo er sie ebenfalls als Nahewirkung durch Vermittlung unsichtbarer Zwischenglieder zu erklären suchte.

Huygens vertrat, wie wir sehen, in wesentlichen Punkten die entgegengesetzte Meinung wie sein großer Zeitgenosse Newton. Die Lehre von der zeitlos sich ausbreitenden Fernwirkung der Gravitation rührt allerdings, wie schon bemerkt, nicht von Newton selbst her, sondern ist erst von seinen Schülern zum Dogma erhoben worden. Aber voller Gegensatz bestand in der Anschauung vom Wesen des Lichtes, Emissionstheorie gegen Wellentheorie. So groß war Newtons Autorität, daß die richtige Lehre völlig unterlag, ja ein Jahrhundert lang unterdrückt wurde, ganz verschwand. Sie hat eine glänzende Auferstehung gefeiert. Sie steht heute so fest begründet, daß wir uns kaum vorstellen können, daß auch sie sich als falsch erweisen könnte. Wohl sind die Einzelheiten der Vorstellungen Huygens' nicht mehr haltbar, ja wir glauben heute nicht einmal mehr an die mechanische Begründung als elastische Wellen. Wir sehen heute in den Lichtwellen elektromagnetische Wellen. Aber dauernd bestehen bleiben wird wohl die Ansicht von der Wellennatur des Lichtes.

Es ist eine für beide Männer gleich ehrenvolle Tatsache, daß die Nichtübereinstimmung in wissenschaftlichen Fragen der gegenseitigen Hochschätzung keinen Eintrag tat. Es ist eine müßige Frage, wem von beiden die Palme gebührt. Freuen wir uns, daß der Welt zwei so überragende Geister geschenkt worden sind, die die Erkenntnis der Natur so mächtig gefördert haben.

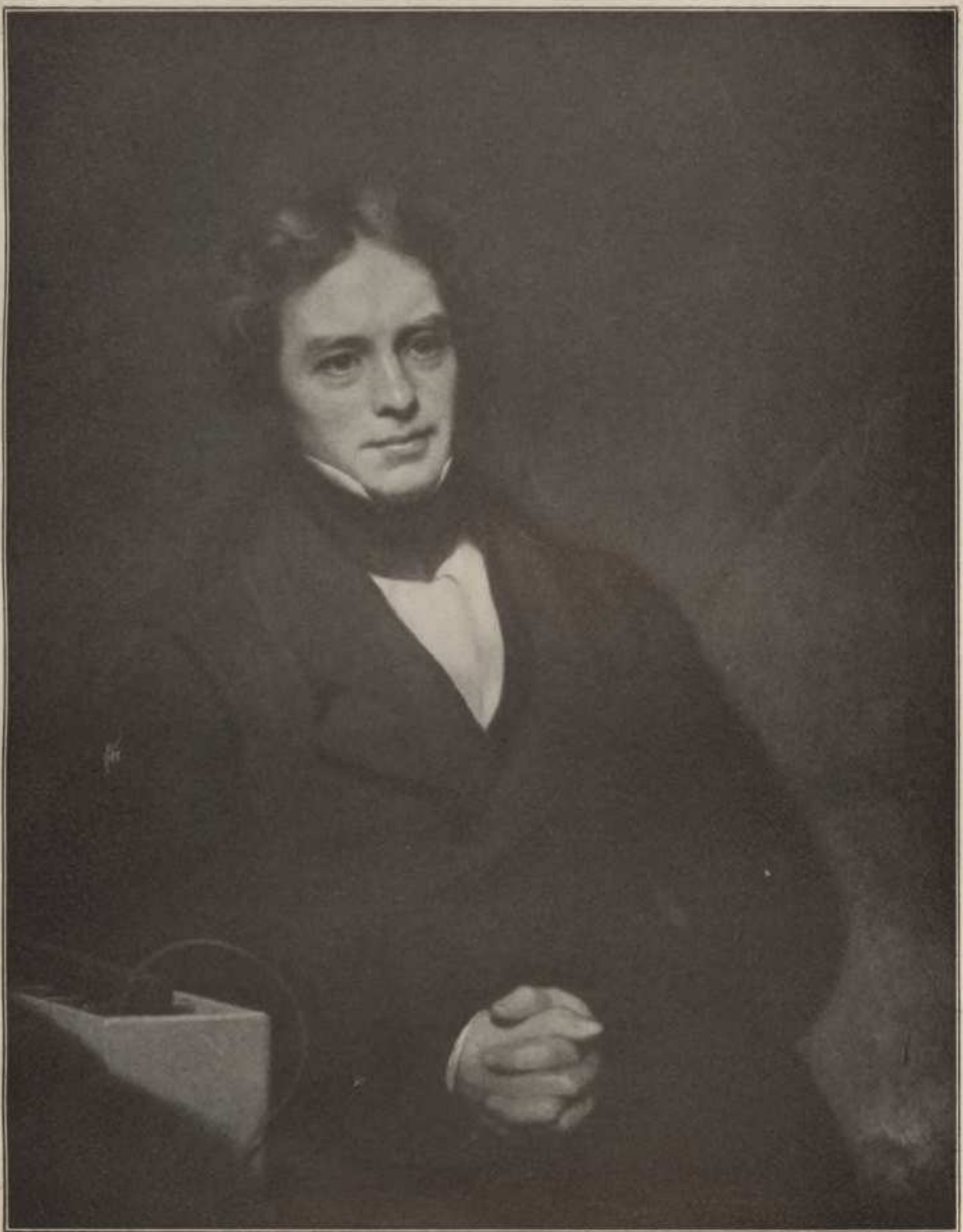


## IV. Michael Saraday.

England, das der Welt den großen Newton, den Vater der Mechanik, geschenkt hat, ist auch die Heimat eines Naturforschers, dem die Physik eine Sülle der wunderbarsten unerwartetsten Entdeckungen verdankt, die den Anstoß zu einer gänzlichen Umwälzung der Lehre vom Magnetismus und von der Elektrizität und zu einer Entwicklung dieser Wissenschaft gegeben haben, wie sie sich großartiger kaum denken läßt. Dieser Naturforscher ist Michael Saraday, „der König der Experimentatoren“. Erst vor etwa 30 Jahren hat die auf ihn zurückgehende Epoche der Physik durch die Versuche von Heinrich Herß einen gewissen Abschluß gefunden. Und jetzt leben alle Physiker völlig in den Ideen und Anschauungen, die Saraday zum erstenmal geäußert hat, geleitet von einer staunenswerten Begabung, intuitiv den Zusammenhang zwischen scheinbar ganz voneinander getrennten Naturerscheinungen zu erfassen. Aber nicht nur die reine Wissenschaft, auch die Technik genießt heute, was Saraday der Natur abgelaußt hat. Seine Entdeckungen haben in ihren Folgen tief in das wirtschaftliche Leben der Völker eingegriffen. Wenn uns heute die elektrischen Zentralen aller größeren Städte elektrisches Licht liefern, der Verkehr durch elektrische Straßenbahnwagen in ungeahnter Weise zugenommen hat, und in dieser Industrie Tausende Brot und Beschäftigung finden, Telephonanlagen bequemste unmittelbare Verständigung über weite Entfernungen ermöglichen, die elektrische Energie in weitestem Umfange der Menschheit zugänglich gemacht ist, so ist das fast alles in letzter Linie auf Saradays Entdeckung der Induktion zurückzuführen. Und dieselbe Entdeckung ist es, die im Induktorium benutzt wird, das heute die Röntgenröhren betreibt.

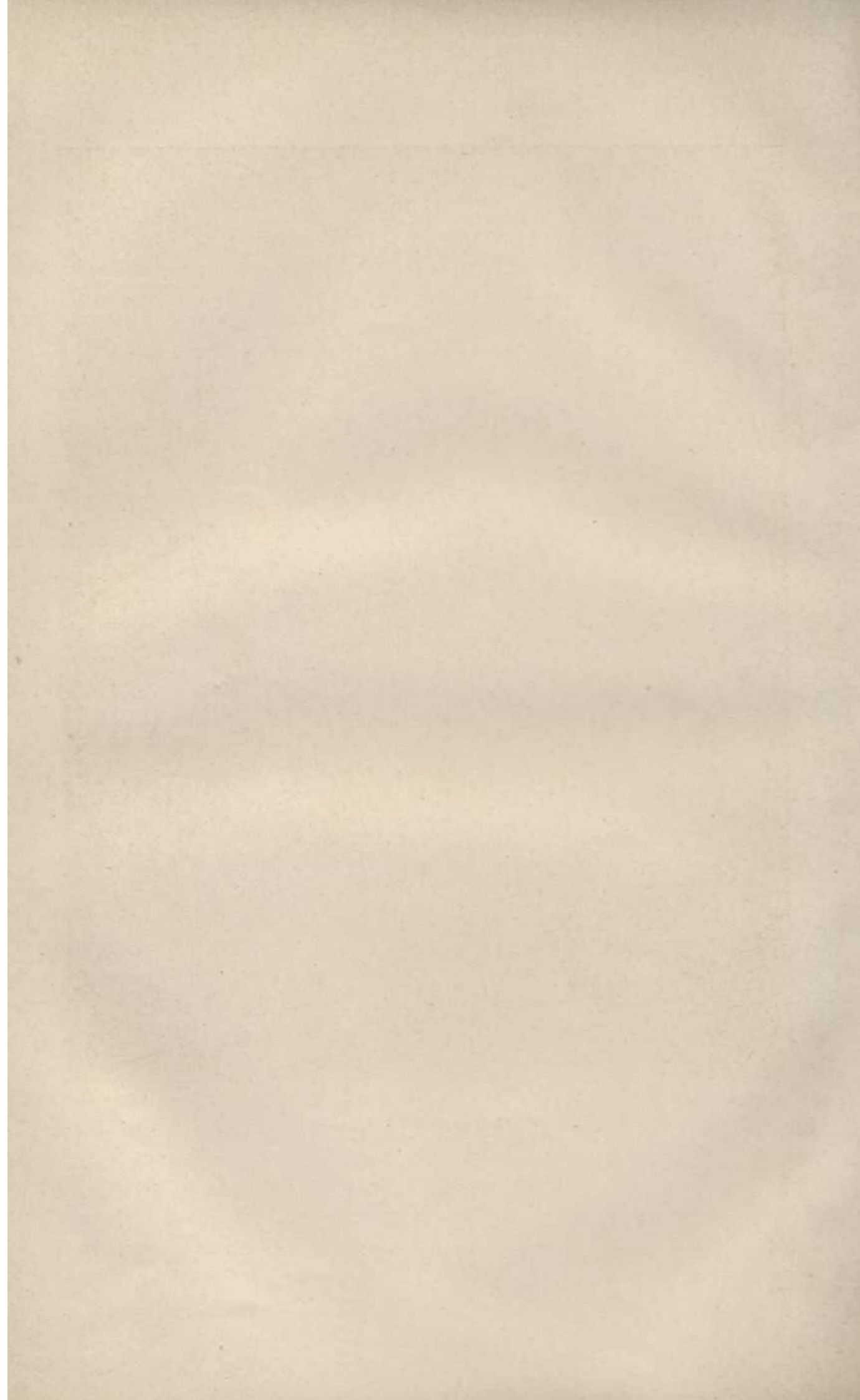
Alle die wunderbaren Entdeckungen, deren eine einzige genügt haben würde, um ihrem Urheber einen Ehrenplatz in der Geschichte der Physik zu sichern, verdanken wir einem Manne, der in den ärmlichsten Verhältnissen aufgewachsen ist, kaum einen ordentlichen Elementarunterricht, geschweige denn jemals einen systematischen Unterricht in den Naturwissenschaften genossen hat, einem vollkommenen Autodidakten, der nichts anderes mitbrachte als eine glühende Begeisterung für die Natur, einen rastlosen Eifer, einen offenen Blick und warme Empfänglichkeit für die Sülle der Erscheinungen, die ihm von außen entgegen traten.





*Michael Faraday*







Aber gerade dieser völlige Mangel eines geordneten Unterrichts, der sich in den tausendfach betretenen gewohnten Bahnen bewegt, in dem ein Wissen in feststehender durch Traditionen fast geheiligter Form von Generation zu Generation unverändert weitergegeben wird, nur zu leicht ein unbefangenes Betrachten der Erscheinungen unmöglich macht und allmählich von selbst dahin führt, daß der Geist die gewiesenen Bahnen nicht zu überschreiten vermag und wie mit Scheuflappen den einmal gewiesenen Weg verfolgt, — gerade dieser Mangel hat Saraday wohl dazu befähigt, unbeirrt und unbeengt von Schulmeinungen ganz naiv, gewissermaßen von neuem, an die Erscheinungen heranzutreten, sie mit ungetrübtem Blick, nicht durch die Brille einer traditionellen Doktrin zu betrachten.

Daher hat denn auch seine Vorstellung der elektrischen und magnetischen Kräfte etwas Revolutionäres, von den herrschenden Ansichten durchaus Abweichendes, mit ihnen Unverträgliches. Namentlich gegen die Lehre der Newtonschen Schule (nicht etwa Newtons selbst), von der reinen unvermittelten Fernwirkung der Gravitation, der elektrischen und magnetischen Kräfte, lehnte sich Saraday auf. Er konnte sich durchaus diese Lehre nicht zu eigen machen, sondern sah in der scheinbaren Fernwirkung mit genialer Intuition die Wirkung von unsichtbaren Zustandsänderungen, die sich mit endlicher Geschwindigkeit durch das Zwischenmedium von Ort zu Ort fortpflanzen, wie etwa ein Schlag auf das Ende einer Spirale als Welle an dieser fortgleitet.

Sreilich war es nun einer schnellen Verbreitung seiner Ideen wieder hinderlich, daß er sie, eben infolge des Mangels an einer Schulung, nicht in einer allgemein verständlichen Weise auszudrücken vermochte, so daß sie meistens ganz unbeachtet oder unverstanden blieben. Wohl nahm man seine Entdeckungen mit Enthusiasmus und Dank für den Entdecker hin, schob aber seine theoretischen Überlegungen als etwas ganz Unverständliches, Lästiges, oder gar Schrullenhaftes beiseite. Allerdings hätte man sich sagen müssen, daß Gedanken, die ihren Urheber zu solchen erstaunlichen Entdeckungen geführt, wohl einen außerordentlichen Wert haben mußten. Aber sie waren eben so abweichend von aller gewohnten Art der Darstellung geschrieben, eilten auch ihrer Zeit so weit voraus, daß sie unverstanden blieben, und wir erst heute imstande sind, den gewaltigen in ihnen enthaltenen Reichtum und ihre Genialität im Erfassen des Tatsächlichen zu erkennen. Berichtet doch selbst ein Helmholtz, daß er oft ratlos auf Sätze von Saraday gestarrt



und ihren Sinn nicht habe ergründen können. Erst als ein kongenialer Landsmann Faradays, Maxwell, eine Darstellung dieser Ideen in der den Gelehrten gewohnten Sprache gab, fingen sie an, allgemein Eingang zu finden. Den endgültigen Sieg seiner Vorstellungen, den die Herzschen Versuche brachten, hat Faraday nicht mehr erlebt. Die drahtlose Telegraphie, die sich wiederum auf diese berühmten Versuche gründet, ist der denkbar glänzendste Beweis für die Richtigkeit der Faradayschen Ideen.

Faradays wissenschaftliche Tätigkeit gehört ganz dem vergangenen Jahrhundert an. Während uns von Newton nun ein Zeitraum von über zwei Jahrhunderten trennt, so daß er ganz eine historische Größe geworden ist, gibt es wohl noch manche unter den Lebenden, die Faraday noch persönlich gekannt haben.

Faraday wurde am 22. September 1791 als Sohn eines Schmiedes in Newington Butts geboren, einem Dorf, das heute ganz in dem Weichbild Londons aufgegangen ist. Nach einem kümmerlichen Elementarunterricht wurde er zunächst Laufbursche und nach einer einjährigen Probezeit Lehrling bei dem Buchbinder Riebau. Der aufgeweckte Junge ließ sich nicht an dem Binden der Bücher genügen. Ihn fesselte ihr Inhalt, und er las ziemlich wahllos alles, was ihm dabei unter die Hände kam. Doch waren es bald vor allem die Bücher über Physik und Chemie, deren Inhalt ihn förmlich begeisterte. Er machte die einfachsten Grundversuche der Chemie nach und baute sich selbst eine noch heute erhaltene Elektrisiermaschine.

Von entscheidender Bedeutung für sein ganzes Leben war der Besuch einer Anzahl Abendvorlesungen über Naturphilosophie, die der Chemiker Davy in den Jahren 1810 und 1811 hielt. Das Eintrittsgeld erhielt Faraday von seinem Bruder. Von diesen Vorträgen hatte Faraday genaue Ausarbeitungen gemacht. Seine Gedanken waren jetzt nur noch bei der Naturwissenschaft, und als er nun noch das Unglück hatte, als Geselle zu einem rauhen heftigen Meister zu kommen, faßte er sich ein Herz und schrieb unter Beilegung seiner Ausarbeitungen an Davy einen Brief mit der Bitte, ihn in seinem Vorhaben, das Handwerk aufzugeben und sich ganz der Naturforschung zu widmen, mit seinem Rat und seiner Hilfe zu unterstützen.

Faradays Herzenswunsch ging auch in Erfüllung. Davy, dem der junge Mann einen guten Eindruck gemacht haben muß, bot ihm die Stelle als Laborant in seinem Laboratorium an, die Faraday natürlich



mit tausend Freuden annahm. Gormell wurde er von der Royal Institution angestellt, an der Davy als Dozent tätig war. Es ist dies eine höchst eigenartige wissenschaftliche Gesellschaft. Sie wurde 1799 von Graf Rumford als eine Art technische Schule gegründet. Besondere Berühmtheit haben von jeher die Vorlesungen gehabt, die an ihr von verschiedenen namhaften Gelehrten gehalten werden. Sie kann heute als eine Art Universität für Naturwissenschaften gelten, welche Professoren besoldet, die in erster Linie nur die Verpflichtung zur Forschung, in zweiter die Abhaltung öffentlicher Vorlesungen übernehmen. Da das Hauptgewicht auf die Forschung gelegt wird, wofür den Professoren Zeit und Geld in reichem Maße zur Verfügung gestellt wird, sind es ideale Stellungen, gegenüber den Professuren an den eigentlichen Universitäten, die mit einer großen Menge von Verpflichtungen überhäuft sind, die nicht die zu völliger Konzentration auf ein Gebiet notwendige Zeit gewähren.

An dieser Anstalt wurde Faraday mit 22 Jahren Vorlesungsassistent und hat ihr seine Kräfte sein ganzes Leben hindurch aufs eifrigste gewidmet. Ihm und Davy verdankt man, daß die Anstalt über die ersten Jahre ihres Bestehens glücklich hinwegkam, in denen sie öfters einzu-gehen drohte. Faraday befand sich kaum ein halbes Jahr in seiner neuen Stelle, als ihn Davy, der offenbar mit ihm außerordentlich zufrieden gewesen sein muß, als Assistent auf eine größere Reise durch die Hauptstädte Europas bis nach Neapel mitnahm. Faraday, der bisher aus London nicht herausgekommen war, nahm in seiner ihm eigenen lebhaften temperamentvollen Art mit Entzücken die Eindrücke in sich auf, die auf dieser Reise auf ihn einstürmten. Auf dieser Reise hatte er als ständiger Begleiter Davys das Glück, viele der hervorragendsten Chemiker und Physiker seiner Zeit persönlich kennen zu lernen, u. a. Ampère, Arago, Gay-Lussac, Dumas, Volta, Biot, de Saussure; mit manchem von ihnen verknüpfte ihn bald eine dauernde Freundschaft.

Nach der Rückkehr von der etwa ein Jahr dauernden Reise trat er wieder seine frühere Stellung in der Royal Institution an, wo er seine Pflichten aufs eifrigste erfüllte. Namentlich war er unermüdlich in der Unterstützung bei den Versuchen seines Gönners Davy, der Faraday immer mehr schätzen lernte. Allmählich fing er auch selbst mit eigenen wissenschaftlichen Forschungen an und veröffentlichte seit 1816 eine Reihe kleiner Abhandlungen aus den verschiedensten Ge-



bieten der Physik und Chemie; auch begann er nun, öffentliche Vorträge über Chemie zu halten. Wie streng er es hierbei mit seiner Pflicht nahm, erhellt daraus, daß er hierfür einen für seine Verhältnisse sehr kostspieligen Kursus in der Rednerkunst nahm, von dem er sich sogar eine ausführliche Niederschrift anfertigte, ein Beispiel der Gründlichkeit, mit der er jede Sache anpaßte.

In das Jahr 1821 fällt seine Verheiratung mit Sarah Barnard, der Tochter eines Silberschmiedes, eines der „Ältesten“, aus der Gemeinde der Sandmanianer. Es war eine überaus glückliche Ehe. Unter der Zusammenstellung der amtlichen Papiere, Ehrendiplome usw., die Faraday sich angeeignet hatte, fand sich ein Zettel von Faradays Hand folgenden Inhalts: „25. Januar 1847. Zwischen alle diese Erinnerungen und Begebenheiten schalte ich hier das Datum eines Ereignisses ein, welches als Quelle von Ehre und Glück für mich alle anderen weit übertrifft. Wir heirateten am 12. Juni 1821. M. Faraday.“ Seine Freunde können nicht genug die Innigkeit dieses Ehebundes rühmen und bewundern. Tyndall schreibt darüber: „Nie, glaube ich, gab es eine männlichere, reinere und beständigere Liebe. Gleich einem brennenden Diamanten fuhr sie 46 Jahre lang fort, ihre weiße rauchlose Glut auszustrahlen.“

Kurz nach seiner Verheiratung trat Faraday in die Gemeinde der Sandmanianer ein, der seine Frau angehörte, und blieb ihr bis zu seinem Tode ein treues werktätiges Mitglied. Das junge Paar erhielt die Erlaubnis, seine Wohnung in den Räumen der Royal Society aufzuschlagen, die es dann 46 Jahre lang innehatte. In dem Jahre seiner Verheiratung beginnt die Reihe der großen Arbeiten, die Faraday zum ersten Physiker seiner Zeit machten. Das Schwergewicht aller seiner Arbeiten und Entdeckungen liegt, sowohl der Ausdehnung wie der inneren Bedeutung nach, auf dem Gebiet der Elektrizität und des Magnetismus. Um diese im Zusammenhang besprechen zu können, wollen wir zuvor einen Blick auf die wichtigsten seiner Arbeiten in den anderen Gebieten der Physik sowie der Chemie werfen. Sie schließen sich zunächst begreiflicherweise an die Untersuchungen an, mit denen er sich als Assistent von Davy zu beschäftigen hatte, und sind wohl meist auf dessen Anregung hin entstanden.

Unter diese ist vor allen Dingen die Verflüssigung des Chlorgases sowie einiger anderer Gase zu rechnen, die man bis dahin als sogenannte permanente Gase bezeichnet hatte, d. h. als Substanzen, zu deren



Wesen es gehören sollte, daß sie stets als Gase, niemals als Flüssigkeiten, auftreten können. Saraday gelang die Verflüssigung mehrerer Gase, Chlor, Kohlensäure, Ammoniak, Stickstoffdioxid und einiger anderer dadurch, daß er das Gas in einem geschlossenen  $\wedge$ -förmig gebogenen Glasrohr an einem Ende durch Erhitzung mittels chemischer Umsetzung aus festen oder flüssigen Körpern erzeugte. Durch fortgesetzte Nachentwicklung kam das Gas unter hohen Druck und verflüssigte sich dann in dem anderen Ende des Rohres, das durch Eintauchen in eine Kältemischung abgekühlt wurde.

Kurz darauf machte Saraday eine weitere wichtige Entdeckung, nämlich die Auffindung des Benzols, das in der Folge das Ausgangsmaterial für eine große Reihe der wichtigsten, auch praktisch wertvollen chemischen Verbindungen geworden ist.

In den Jahren 1825—1830 war Saraday als Mitglied einer Kommission tätig, die von der Royal Society zur Auffindung neuer für die Zwecke der Optik besonders geeigneter Glasarten eingesetzt war. Außer Saraday gehörten ihr noch Herschel und Dollond an. Saraday, dem hierbei hauptsächlich der chemische Teil zugedacht war, widmete sich dieser Aufgabe mit unermüdlichem Eifer und trug ein großes Material von wertvollen Beobachtungen und Schmelzmethoden zusammen. Wenn auch der schließliche sichtbare Erfolg nicht im Einklang mit der großen auf diese zeitraubenden Versuche verwendeten Mühe stand, so sind sie doch insofern von unschätzbarem Werte geworden, als er dabei dasjenige Glas herstellte, an dem er später eine seiner glänzendsten Entdeckungen machte, die der magnetischen Drehung der Polarisationsebene des Lichtes.

Bis 1825 war er nominell Assistent von Davy und Brandl. In diesem Jahre wurde er zum Direktor des Laboratoriums der Royal Institution ernannt. In unveränderter Treue widmete er ihr fortan seine Dienste bis an sein Lebensende. Trotz der im Vergleich zu seinen Leistungen geradezu kläglichen Besoldung lehnte er 1827 einen Ruf als Professor der Chemie an die Universität London ab, mit der ausdrücklichen Begründung, daß er seine Tätigkeit weiter der Royal Institution widmen wolle, in dankbarer Erinnerung des Schutzes, den sie ihm bisher in seinem Leben gewährt habe, und der Quelle hohen Glückes, die sie ihm geworden sei, indem sie ihm die Zeit und Mittel zur Ausführung seiner wissenschaftlichen Untersuchungen in reichem Maße gewähre. An diesen hing er mit solcher Leidenschaft und Begeisterung, daß er



1830 sogar die Ausführung von Analysen, die er teils im Privatauftrag, teils als Sachverständiger ausführte, und die so ausgezeichnet honoriert wurden, daß er in Kürze dadurch großen Reichtum hätte erwerben können, ganz aufgab, um sich vollständig seinen geliebten Versuchen widmen zu können, wenn er sich dafür auch weiterhin auf das minimale Jahreseinkommen von 100 Pfund beschränkt sah. Mit diesem Jahre beginnt auch die glänzende Reihe seiner Experimentaluntersuchungen über Elektrizität, die ihn von Entdeckung zu Entdeckung führten.

Den Ausgangspunkt bildet die Auffindung des engen zwischen Elektrizität und Magnetismus bestehenden Zusammenhanges durch Ørstedt im Jahre 1820. Ørstedt fand, daß ein Magnetpol, der sich in der Nähe eines elektrischen Stromes befindet, einen Bewegungsantrieb erfährt, und zwar senkrecht zu der durch den Stromleiter und den Pol gehenden Ebene. Durch diese Entdeckung wurde eine innige Wechselbeziehung zwischen zwei Naturerscheinungen, den elektrischen und den magnetischen, aufgedeckt, die vorher gänzlich zusammenhanglos erschienen. „Sie hat“, wie Faraday sagt, „die Tore zu einem wissenschaftlichen Reiche gesprengt, das bis dahin in tiefem Dunkel lag, und hat es mit einer Glut von Licht erfüllt.“

Setzte die Tatsache der Existenz dieser Kraft schon an und für sich die ganze gelehrte Welt in Erstaunen, so war die eigentümliche Richtung dieser Kraft fast noch merkwürdiger. Gegenüber der Art von Fernwirkungskraft, die man aus dem Newtonschen Gravitationsgesetz sowie dem Coulombschen Gesetz der Wirkung ruhender Elektrizitäts- bez. Magnetismen aufeinander gewohnt war, nämlich in Richtung der Verbindungslinie der beiden bestimmenden Stücke, trat hier eine dazu senkrecht gerichtete Kraft auf, für die es nirgends ein Analogon gab.

1821, ein Jahr nach Ørstedts Entdeckung der Drehung eines Magnetpols um einen gradlinigen Leiter, gelang ihm der Nachweis des inversen Effekts, der nach dem Prinzip von actio und reactio zu erwarten war, nämlich der Rotation eines Stromleiters um einen feststehenden Magnet. War dieser Versuch auch wesentlich nur eine andere Seite des Ørstedtschen Fundamentalversuches, so war doch die Feststellung dieser Umkehrung des Phänomens von großer Wichtigkeit. Eine besondere Bedeutung haben diese Drehungen von Stromleitern im Magnetfelde neuerdings dadurch erlangt, daß auf dieses Prinzip



empfindliche, von äußeren störenden magnetischen Einflüssen unabhängige und viel benutzte Galvanometer konstruiert sind. Doch war diese Entdeckung gewissermaßen nur der Auftakt zu einer noch ungleich bedeutenderen, ja man muß wohl sagen, der glänzendsten, überraschendsten Entdeckung unter den vielen, die wir Saradays Scharfsinn verdanken, der Auffindung der Induktion.

Ørstedt hatte gezeigt, daß ein elektrischer Strom magnetische Kräfte um sich herum erzeugt. Bis dahin war man zur Erzeugung von magnetischen Kräften auf die in der Natur vorkommenden Magnetsteine angewiesen oder auf Stahlstücke, die durch Streichen mit einem natürlichen Magneten magnetisiert waren. Nun zeigte sich, daß man zur Erzeugung von Magnetismus nicht auf die natürlichen Magnete allein angewiesen war, sondern daß man auch magnetische Kräfte allein aus Elektrizität gewinnen kann. Von einem wunderbaren Instinkt geleitet, suchte nun Saraday nach einer Erscheinung, welche die Umkehrung dieser Erzeugung von Magnetismus durch Elektrizität darstellt. Er war überzeugt, daß es etwas derartiges geben müsse. Mit eiserner Konsequenz verfolgte er diesen Gedanken. Aber es bedurfte zehnjährigen rastlosen Bemühens, ehe seine Arbeit von Erfolg gekrönt war und er zum erstenmal einen induzierten elektrischen Strom erhielt. Wir sind durch außerordentlich genaue und ausführliche Notizen in Saradays Tagebüchern sehr eingehend über die Entstehungsgeschichte dieser denkwürdigen Entdeckung unterrichtet. Saraday hatte die Gewohnheit, gelegentliche Einfälle, auftauchende Probleme und Fragen zu notieren. Und so findet sich schon im Jahre 1822 in seinem Notizbuch die Bemerkung: „Verwandle Magnetismus in Elektrizität.“

Man wußte, daß ein von einem elektrischen Strom spiralgig umflossener Eisenstab magnetisch wird. Wie kann man das Gegenstück hierzu erreichen? Wie erzeugt man einen elektrischen Strom, wenn ein Magnet gegeben ist? Auf dieses Problem konzentriert sich nun sein ganzes Denken. Man erzählt, daß er stets ein kleines Modell eines Elektromagneten in der Tasche trug, ein etwa ein Zoll langes Eisenstäbchen, von einigen Kupferdrahtwindungen spiralgig umgeben; in unbeschäftigten Augenblicken habe er es aus der Tasche genommen und betrachtet. Eine innere Stimme sagte ihm, es müsse ein verwandtes Phänomen geben, bei dem Elektrizität aus Magnetismus erzeugt wird. Immer wieder stellt er neue Versuche dazu an, ersinnt neue Kombinationen, über die in seinen Tagebüchern dann stets mit



dem Vermerk: „Kein Erfolg“ berichtet wird. Endlich, nach zehnjähriger Mühe, ist die gesuchte Erscheinung gefunden. Im August 1831 erhält er den ersten Induktionsstrom, und es bedurfte nun nur einer Arbeit von 10 Tagen, um alle 10 Jahre lang gesuchten Erscheinungen vollständig einwandfrei experimentell zu erledigen.

Es sind alle die Erscheinungen und Versuche, die auch heute noch als Fundamentalversuche im Unterricht bei der Besprechung der Induktionsercheinungen an die Spitze gestellt werden. Faraday gab den neuen Erscheinungen die auch heute noch vielfach üblichen Bezeichnungen Magnetinduktion und Voltainduktion.

In der Tat waren die Erscheinungen, die Faraday stets vorgeschwehrt hatten, von ganz eigentümlicher Art, wie sie von vornherein schwer auszudenken oder zu ahnen waren. Es zeigte sich nämlich erstens, daß ein elektrischer Strom in einem geschlossenen Leitungsdraht entsteht in dem Moment, in dem in einem ihm nahen, aber doch von ihm räumlich getrennten zweiten Leitungsdraht ein elektrischer Strom geschlossen oder aber geöffnet wird, oder auch, wenn dieser Strom verstärkt oder geschwächt, genähert oder entfernt wird. Und zwar ist der erregte, induzierte Strom dem ersten entgegengesetzt gerichtet, wenn der induzierende Strom geschlossen, verstärkt oder genähert wird; gleichgerichtet in den andern Fällen. Dies nannte Faraday Voltainduktion. Ihr entsprechen die Erscheinungen der Magnetinduktion: Nähert oder entfernt man einen Magneten einer geschlossenen Leitung, so entsteht in ihr im Moment der Näherung oder Entfernung ein induzierter Strom, und zwar ist wieder die Richtung des induzierten Stromes beim Nähern des Magneten entgegengesetzt derjenigen beim Entfernen.

Es muß für Faraday ein Augenblick der reinsten Freude, ein erhebender Moment gewesen sein, als ihm das Zucken der Magnetnadel zum ersten Male den Induktionsstrom anzeigte.

An Wichtigkeit für die Erkenntnis sind die Entdeckungen des Elektromagnetismus und der Induktion einander gleichwertig. Diese beiden Erscheinungen sind die Grundpfeiler der Lehre der elektrischen und magnetischen Erscheinungen bis heute. Die enge Verketzung von Magnetismus und Elektrizität wird durch sie dargestellt. Dieser enge Zusammenhang ist uns heute so geläufig, daß er uns nicht mehr als etwas Besonderes erscheint. Zur Zeit ihrer Auffindung mußte sie aber notwendig ein Aufsehen machen, wie es etwa heutzutage Versuche



machen würden, die einen innigen Zusammenhang von elektrischen Strömen mit den Gravitationserrscheinungen aufdecken, die ja bis heute noch vollständig ohne jede Verbindung mit allen anderen Erscheinungen dastehen. Geschichtlich ist aber die Entdeckung der Induktion durch Faraday gegenüber derjenigen des Elektromagnetismus, die einer zufälligen Beobachtung zu danken ist, so interessant, weil sie die Krönung zielbewußter Versuche war.

In den folgenden Jahren baute Faraday seine Entdeckung noch weiter aus. Er zeigte, daß auch der Erdmagnetismus allein genüge, um induzierte Ströme zu erzeugen. Ferner konstruierte er kleine Apparate, durch die mittels Rotation von Stromleitern zwischen festen Magnetpolen fortgesetzt elektrische Ströme hervorgebracht wurden — die ersten Dynamomaschinen. Er zeigte auch, daß der sogenannte Rotationsmagnetismus Aragos ganz eine Folge induzierter Ströme ist. Es ist dies die von Arago 1824 beobachtete merkwürdige Erscheinung, daß eine Magnetnadel in Rotation versetzt wird, wenn sich dicht unter ihr eine Metallscheibe in drehender Bewegung befindet. Arago hatte dies als eine neue Art, magnetische Kräfte hervorzubringen, als Rotationsmagnetismus gedeutet. Faraday konnte nun zeigen, daß hier nur die elektromagnetische Wirkung der durch die Rotation in der Metallscheibe in der Nähe des Magnetpols induzierten elektrischen Ströme auf die Magnetnadel vorliegt, daß also ein eigentlicher Rotationsmagnetismus nicht existiert.

Auch baute er Apparate, die im wesentlichen unseren heutigen Induktoren und Transformatoren gleichen, und es gelang ihm zu seiner großen Genugtuung, hiermit glänzende Funken an den einander nahegebrachten Enden der induzierten Spule zu erhalten. Nach einigen vergeblichen Bemühungen gelang es ihm auch zu zeigen, daß ein induzierter Strom ebenso wie ein gewöhnlicher einem Element entnommener elektrischer Strom imstande ist, Wasser zu zersetzen. Es war ihm dies besonders wertvoll zur Stützung seiner Behauptung, daß ein Induktionsstrom sich in nichts von einem auf anderem Wege erzeugten elektrischen Strom unterscheide.

Diese Versuche führten ihn weiter zu eingehendem Studium der elektrolytischen Erscheinungen. Wie in allem, was er angriff, sollte er auch hier bahnbrechend wirken. Ihm verdankt man zunächst eine präzise Nomenklatur, die so glücklich gewählt war, daß sie bis heute unverändert beibehalten wird. Den Vorgang selbst nennt er



Elektrolyse, den zersetzten Stoff Elektrolyt. Die Eintritts- bzw. Austrittsfläche des elektrolysierenden Stromes bezeichnet er als Anode, bzw. Kathode. Die Teilstücke der Moleküle, die an den Elektroden erscheinen, heißen Ionen (die wandernden), und zwar die an die Anode gehenden Spaltungsstücke Anionen, die an die Kathode wandernden Kationen.

In diesen Namen ist seine Überzeugung ausgedrückt, daß die Spaltungsstücke der Moleküle nicht, wie man bis dahin meist annahm, erst an den Elektroden gebildet werden, sondern daß sie innerhalb des ganzen Elektrolyten vorhanden sind und durch ihn hindurch zu den betreffenden Elektroden „wandern“.

Bewährter naturwissenschaftlicher Methode getreu förderte nun Faraday die Kenntnis der Elektrolyse dadurch, daß er in mühevoller Arbeit zunächst das Zahlenmäßige, Quantitative der Erscheinungen, das „Wie“ des Vorganges durch genaue Analyse der an den Elektroden sich abscheidenden Produkte nachwies. Diese führten ihn zu den beiden nach ihm benannten Grundgesetzen der Elektrolyse:

1. Die in demselben Elektrolyten abgeschiedenen Mengen sind proportional dem Produkt aus Stromstärke und Zeit des Stromdurchganges, also der insgesamt hindurchgegangenen Elektrizitätsmenge.
2. Die von demselben Strom in verschiedenen Elektrolyten abgeschiedenen Mengen stehen in denselben Gewichtsverhältnissen, in denen sie sich zu chemischen Verbindungen vereinigen.

Diese beiden Gesetze sind das Fundament zu der Lehre von der Elektrolyse, die heute bereits so außerordentlich weit gefördert ist. Wenn auch Faraday nicht das volle Verständnis der Einzelheiten des ganzen Mechanismus der elektrolytischen Stromleitung möglich war, so ist es doch erstaunlich, wie nahe seine Vermutungen den Ansichten kommen, die sich allmählich hierüber entwickelt haben. So schreibt er: „Wenn wir die Atomtheorie annehmen, oder deren Ausdrucksweise annehmen, so haben die Atome von Körpern, welche einander äquivalent in bezug auf ihre gewöhnliche chemische Wirkung sind, gleiche Mengen von Elektrizität, die von Natur mit ihnen verbunden sind.“ Man sieht, wie nahe diese Äußerung der heutigen Lehre von den elektrischen Elementarquanten bereits kommt.

Hatte Faraday durch die Entdeckung der Induktion und der Gesetze der Elektrolyse der Wissenschaft neue Gebiete und ungeahnte Tatsachen erschlossen, die sich aber doch noch einigermaßen in dem Rahmen von bereits bekannten Erscheinungen hielten und dem Vorstellungs-



vermögen trotz der Neuheit ihrer Erscheinungsformen keine erheblichen Schwierigkeiten boten, so ging nun in den folgenden Jahren seine rastlose Phantasie, sein wunderbares Ahnungsvermögen weit über die Köpfe seiner Zeitgenossen hinweg und bot ihnen sowohl in Spekulation und Hypothesen wie in Tatsachen unerhört Neues, von dem ein großer Teil in seiner vollen Bedeutung erst Jahrzehnte später voll gewürdigt werden konnte. Wer sich über die im folgenden nur kurz skizzierten Vorstellungen Saradays und ihre weitere Entwicklung näher informieren will, sei verwiesen auf S. Richarz, Neuere Fortschritte der Elektrizitätslehre, 2. Aufl., B. G. Teubner, Leipzig.

Diese neuen Saradayschen Vorstellungen knüpfen zunächst an die Entdeckung der induzierten Ströme an, als Saraday sich bemühte, das quantitative Gesetz der neuen Erscheinung der Magneto- und der Voltainduktion anzugeben, und ferner noch weiter in das Wesen dieser Erscheinung einzudringen. Ihm dienten hierbei die magnetischen „Kraftlinien“ als wesentliches Hilfsmittel, jene Linien, die einen Magnetpol umgeben, und deren Gestalt in bekannter Weise sichtbar gemacht werden kann, wenn man auf ein Papier, auf dem der Magnet liegt, Eisenfeilspäne aufstreut. Saraday zeigte, daß für die Größe der in einer Drahtschleife bei ihrer Bewegung in der Nähe des Magneten induzierten elektromotorischen Kraft maßgebend ist, mit welcher Geschwindigkeit sich bei der Bewegung die Anzahl der die Fläche des Leiters durchsetzenden Kraftlinien ändert. Sand diese Fassung des Induktionsgesetzes, die heute noch die präziseste und zugleich anschaulichste genannt werden muß, schon an und für sich viele Gegner, weil diese Anzahl nicht genau angegeben werden konnte, ein Mangel, der allerdings zunächst bestand, aber später leicht beseitigt wurde, so fand Saraday nicht das geringste Verständnis, als er nun dazu überging, den Kraftlinien, die bis dahin nichts als fiktive für die Rechnung und Anschauung leidlich brauchbare Gebilde waren, eine ganz besondere Bedeutung beizumessen, indem er ihnen reale Existenz zuschrieb. Saraday war zu der Erkenntnis gelangt, daß längs ihrer Bahn das einen Magneten oder eine Stromspule umgebende Medium sich in einem von dem normalen gänzlich abweichenden Zustande befinde, dessen Bestehen das Wesentliche an dem Magneten bez. der Stromspule sein sollte. Ebenso sollte auch ein elektrifizierter Körper in seiner ganzen Umgebung einen eigentümlichen Zwangszustand hervorrufen. Das umgebende Medium sollte nicht, wie man früher annahm, bei den elektri-



sehen und magnetischen Erscheinungen gänzlich unbetheiligt sein, sondern der veränderte Zustand, in den es gelangt ist, sollte die wesentliche Rolle spielen, namentlich z. B. bei den Kräften, mit denen sich zwei elektrische Körper oder zwei Magnete gegenseitig beeinflussen, oder mit der ein elektrischer Strom einen Magneten ablenkt. In Analogie zu der Gravitation war man gewohnt, diese Kräfte als reine Fernkräfte aufzufassen, die unvermittelt von einem Körper durch den umgebenden Raum hindurch auf den zweiten wirkten. Faraday war die Vorstellung einer solchen Fernkraft etwas durchaus Unsympathisches, unmöglich Scheinendes. Er konnte sich nicht anders denken, als daß diese Kräfte durch Vermittlung des Zwischenmediums von einem Körper auf den andern übertragen würden vermöge einer Zustandsänderung, die dieses erleidet.

Wie richtig seine feste Vermutung von dem großen Einfluß des Zwischenmediums war, zeigte er sehr bald (1837) durch eine Entdeckung, die der Auffindung der Induktionsströme durchaus ebenbürtig war, wenn sie äußerlich auch nicht direkt so glänzend erschien und ihr eine praktische Verwendbarkeit abging. Er wies nämlich nach, daß ein aus zwei konzentrischen Kugelschalen bestehender elektrischer Kondensator ganz verschieden großer elektrischer Ladungen bedarf, um zu derselben Spannung geladen zu werden, je nach dem Medium, mit dem man den Zwischenraum ausfüllt. Das Verhältnis der beiden Ladungen, einmal bei dem betreffenden Medium, einmal mit Luft, nannte er spezifische Induktionskapazität; heute als Dielektrizitätskonstante bezeichnet. Um auszudrücken, wie wesentlich das einen elektrischen Körper umgebende Medium ist, bezeichnet er es als Dielektrikum, und man nennt den Zwangszustand, in dem es sich befindet, wenn es einen elektrischen Körper umgibt, dielektrische Polarisation. Analoges gilt für die Umgebung eines Magneten oder eines elektrischen Stromes.

Nach einigen Jahren, die teils der Ruhe gewidmet waren, deren er nach den intensiven Anstrengungen dringend bedurfte, teils mit öffentlichen Vorträgen, Arbeiten für Leuchttürme und dergleichen ausgefüllt waren, überraschte er 1845 die Welt mit einer neuen Entdeckung, die vielleicht den weitesten Vorstoß darstellt, den Faraday in der Aufdeckung des Zusammenhanges der Naturerscheinungen miteinander gemacht hat. Es ist bekannt, daß das Licht in Transversalschwingungen des Äthers besteht. Die Schwingungen erfolgen immer senkrecht zum Strahl, aber für gewöhnlich in dieser Ebene in allen möglichen Rich-



tungen in unregelmäßiger Weise. Durch besondere Mittel kann man es erreichen, daß die Schwingungen nicht unregelmäßig in allen möglichen Richtungen erfolgen, sondern nur in einer ganz bestimmten durch den Strahl gelegten Ebene. Solches Licht heißt polarisiert. Saraday fand nun die wunderbare Tatsache, daß diese Ebene ihre Richtung ändert, gedreht wird, wenn sich das polarisierte Licht längs magnetischer Kraftlinien, also etwa in der Längsdurchbohrung eines Elektromagneten durch gewisse durchsichtige Substanzen, z. B. das besonders von ihm hergestellte Glas (s. S. 67), fortpflanzt.

Es ist dies einer der merkwürdigsten Versuche, die jemals angestellt sind. Jemand, der nicht die erstaunliche, ans Wunderbare grenzende Divinationsgabe Saradays besaß, wäre wohl niemals auch nur flüchtig auf den Gedanken eines solchen Versuches gekommen, geschweige denn zu dem Mute, ihn wirklich auszuführen. Für Saraday war aber das Gelingen dieses Versuches nur die Bestätigung eines innigen Zusammenhanges von Licht und elektromagnetischen Vorgängen, den er schon lange geahnt, zu dessen Annahme ihn seine intensive langjährige Beschäftigung mit den Erscheinungen der Elektrizität geführt hatte. Schon am 10. September 1821 trägt er folgendes in sein Notizbuch ein: „Ich polarisierte einen Strahl von Lampenlicht durch Reflexion und strebte danach, mich zu vergewissern, ob irgendeine depolarisierende Wirkung auf den Strahl durch Wasser ausgeübt würde, welches sich zwischen den Polen einer Voltabatterie . . . befand.“ Es ergab sich damals kein Erfolg. Die tiefere Erklärung der von Saraday gefundenen Drehung der Polarisationssebene des Lichtes im Magnetfelde konnte erst lange nach seinem Tode gegeben werden. Um so bewundernswerter ist die Kühnheit und Sicherheit der Saradayschen Vorstellungen und Ahnungen von Zusammenhängen zwischen scheinbar ganz getrennten Naturerscheinungen. Es ist unzweifelhaft, daß er eine Vorahnung von der Gedankenreihe gehabt, die heute als Schlüsselstein des Gebäudes dasteht, zu dem Saraday die Fundamente gelegt hat, der von Maxwell begründeten elektromagnetischen Lichttheorie.

Diese Vorahnungen der elektromagnetischen Lichttheorie, die behauptet, daß Lichtstrahlen nichts anderes sind als wellenförmig sich ausbreitende elektrische und magnetische Schwingungen, sind enthalten in einer kurzen Abhandlung vom Jahre 1846: „Gedanken über Strahlenschwingungen.“

Bemerkenswert ist, wie schon angegeben, daß die Substanz, an der



Saraday die magnetische Drehung der Polarisationssebene fand, eines jener Gläser war, deren Herstellung er in staatlichem Auftrag so viele Jahre hindurch seine kostbare Zeit ohne nennenswerten Erfolg geopfert hatte. So hatte doch am Ende diese Mühe kostbare Früchte gezeitigt.

Es vergingen kaum drei Monate nach der Entdeckung der magnetischen Drehung der Polarisationssebene, als Saraday noch Ende des Jahres 1845 von einer neuen wichtigen Entdeckung berichten konnte, nämlich des Diamagnetismus. Er fand, daß es eine ganze Reihe von Substanzen gibt, die, in Stabform zwischen die Pole eines kräftigen Elektromagneten gehängt, nicht wie Eisen sich in die Richtung der Verbindungslinie der beiden Pole, sondern senkrecht dazu einstellen. Als besonders kräftig diamagnetisch erwies sich Wismut. Es tut der Größe von Saradays Entdeckung keinen Abbruch, daß sich herausstellte, daß diese Eigenschaft bei Wismut gelegentlich schon früher bemerkt war. Es bleibt Saradays Verdienst, gezeigt zu haben, daß alle Substanzen in die beiden großen Klassen der paramagnetischen und der diamagnetischen Körper eingeteilt werden können: die ersteren stellen sich in die Richtung der Verbindungslinie der Pole eines Magneten, die letzteren senkrecht dazu. Zur Erkenntnis des inneren Grundes dieses merkwürdigen Unterschiedes sind erst jetzt Ansätze vorhanden.

Noch manches Jahr war Saraday seitdem wissenschaftlich tätig; doch kommt das, was er seit jener Zeit noch geschaffen und gefunden hat, an Bedeutung nicht mehr seinen geschilderten großen Entdeckungen gleich, so interessant und geistvoll auch manches davon ist.

Seine glänzenden Entdeckungen brachten ihm Ehren über Ehren. Die gelehrten Gesellschaften fast aller Länder ernannten ihn zu ihrem Ehrenmitglied; man wetteiferte darin, ihm die allgemeine Verehrung der ganzen wissenschaftlichen Welt zu zeigen. Ja, die größte Ehrenbezeigung, die überhaupt einem Gelehrten zuteil werden konnte, wollte man ihm erweisen. Man wählte ihn 1857 zum Präsidenten der Royal Society, auf den Platz, den einst Newton innehatte. Er fühlte sich aber den Verpflichtungen, die mit diesem Amt verbunden waren, körperlich nicht mehr gewachsen und lehnte ab.

Die großen geistigen Anstrengungen, denen er sich unterzogen hatte, machten sich fühlbar. Es traten Zeiten großer Schwäche und Abspannung auf, die er durch längere Reisen wieder zu heben versuchte. Doch die Anfälle wiederholten sich. Immer längere Erholungspausen mußte



sich der tatkräftige, nur in der Arbeit lebende Mann auferlegen. Ein Amt nach dem andern mußte er allmählich aufgeben. 1861 legte er, 70 Jahre alt, seine Professur nieder. Am 20. Juni 1862 hielt er zum letzten Male seine berühmte Freitag-Abendvorlesung in der Royal Institution. In den folgenden Jahren schwanden die Kräfte immer mehr. Langsam trat der gänzliche Verfall seines Körpers ein. Am 26. August 1867 verschied er schmerzlos. Wie es die Sitte seiner religiösen Gemeinde vorschrieb, erfolgte die Beerdigung in aller Stille.

Er hatte nie nach äußeren Ehren gestrebt; sein größtes Glück fand er in der stillen Arbeit an dem Fortschritt der Wissenschaft. Sie erfüllte sein Leben ganz und gar. Für die Fülle seiner Lebensarbeit haben wir das beste Zeugnis in seinem sorgfältigen, von ihm selbst gebundenen ausführlichen Laboratoriumstagebuch, das mehrere Bände umfaßt und in fortlaufende Paragraphen eingeteilt ist.

Unter diesen sind die mit negativem Erfolg ausgeführten zum Teil ebenso interessant wie diejenigen, die ihn zu seinen großen Entdeckungen führten. So hat er eine große Menge von Versuchen angestellt, die das Ziel hatten, eine gegenseitige Beeinflussung von Schwerkraft und Elektrizität aufzufinden, an deren Vorhandensein er felsenfest glaubte. Am Schlusse der Aufzählung dieser Versuche sagt er: „Hier enden vorläufig meine Versuche. Die Resultate sind negativ. Sie erschüttern aber das starke Gefühl in mir nicht, daß eine Beziehung zwischen Schwerkraft und Elektrizität vorhanden ist, obgleich die Experimente bis jetzt nicht bewiesen haben, daß es so ist.“ Bis heute hat ein solcher Zusammenhang nicht nachgewiesen werden können — und doch hat wohl jetzt im stillen jeder Physiker die Überzeugung, daß Faraday einst recht behalten wird!

Von ganz besonderem Interesse unter allen diesen negativen Experimenten ist der allerletzte Versuch, der in Faradays Notizbuch verzeichnet ist. Er ist am 12. März 1862 angestellt. Faraday brachte einen Lichtstrahl zwischen die Pole eines Elektromagneten und untersuchte mit einem Spektroskop das Licht darauf hin, ob sich seine spektrale Zusammensetzung bei Erregung des Magneten änderte. „Nicht die leiseste Wirkung auf den polarisierten oder depolarisierten Strahl wurde wahrgenommen.“ Derselbe Versuch wurde mit den vollkommeneren Hilfsmitteln, die dem Forscher heute zu Gebote stehen, 1897 von Zeeman mit vollem Erfolge wiederholt, und Faradays Ahnung glänzend bestätigt. Dieser Versuch ist nächst den Herzschen Versuchen



wohl der schönste, den gegenwärtig die Physik zum Nachweis der engen Beziehungen zwischen Optik und Elektrizität kennt.

Zu der Verehrung, die ihm die wissenschaftliche Welt darbrachte, gesellte sich eine innige Zuneigung aller, die das Glück hatten, mit ihm in nähere Berührung zu kommen. Es muß von seiner Persönlichkeit ein ganz eigenartiger Zauber ausgegangen sein. Alle, die ihn persönlich kennen lernten, sind entzückt von der Einfachheit seines Auftretens, der Herzlichkeit und Freundlichkeit, die er im Umgange mit anderen entfaltete. Helmholtz berichtet von seinem ersten Zusammentreffen mit ihm: „Das waren für mich große und angenehme Augenblicke. Er ist einfach, lebenswürdig und anspruchslos wie ein Kind; ein so herzgewinnendes Wesen habe ich in einem Manne noch nie gesehen.“

Im Gegensatz zu seinem großen Landsmann Newton, der sich stets mit einer gewissen zurückhaltenden Würde umgab, die ihm etwas Unnahbares verlieh, gab sich Saraday vollkommen natürlich und riß mit der Lebhaftigkeit seines Körpers und Geistes seine Zuhörer mit sich fort, sie begeisternd für die Erscheinungen, deren Studium er sein ganzes Leben widmete. Die Raschheit und das Ungestüm seiner Bewegungen gaben ihm bis ins Alter etwas Jugendliches, Knabenhaftes. Dazu kam eine natürliche ungekünstelte, stets klare und wohl-disponierte Ausdrucksweise, die ihn zu einem Meister der Vortragskunst machte. Seine öffentlichen Vorträge wurden als ideal in jeder Beziehung gerühmt. Er verstand es, sich ganz dem Bildungs- und Verständnisgrad seiner Zuhörer anzupassen, sei es, daß er vor einer gelehrten Gesellschaft vortrug, oder eine jener berühmt gewordenen Vorlesungen vor Kindern hielt, die ihm eine Quelle ganz besonderer Freude waren und das beste Zeichen für sein kindlich lebenswürdiges heiteres Gemüt sind. Eine jener Vorlesungen Saradays vor Kindern ist veröffentlicht unter dem Titel: „Naturgeschichte einer Kerze.“

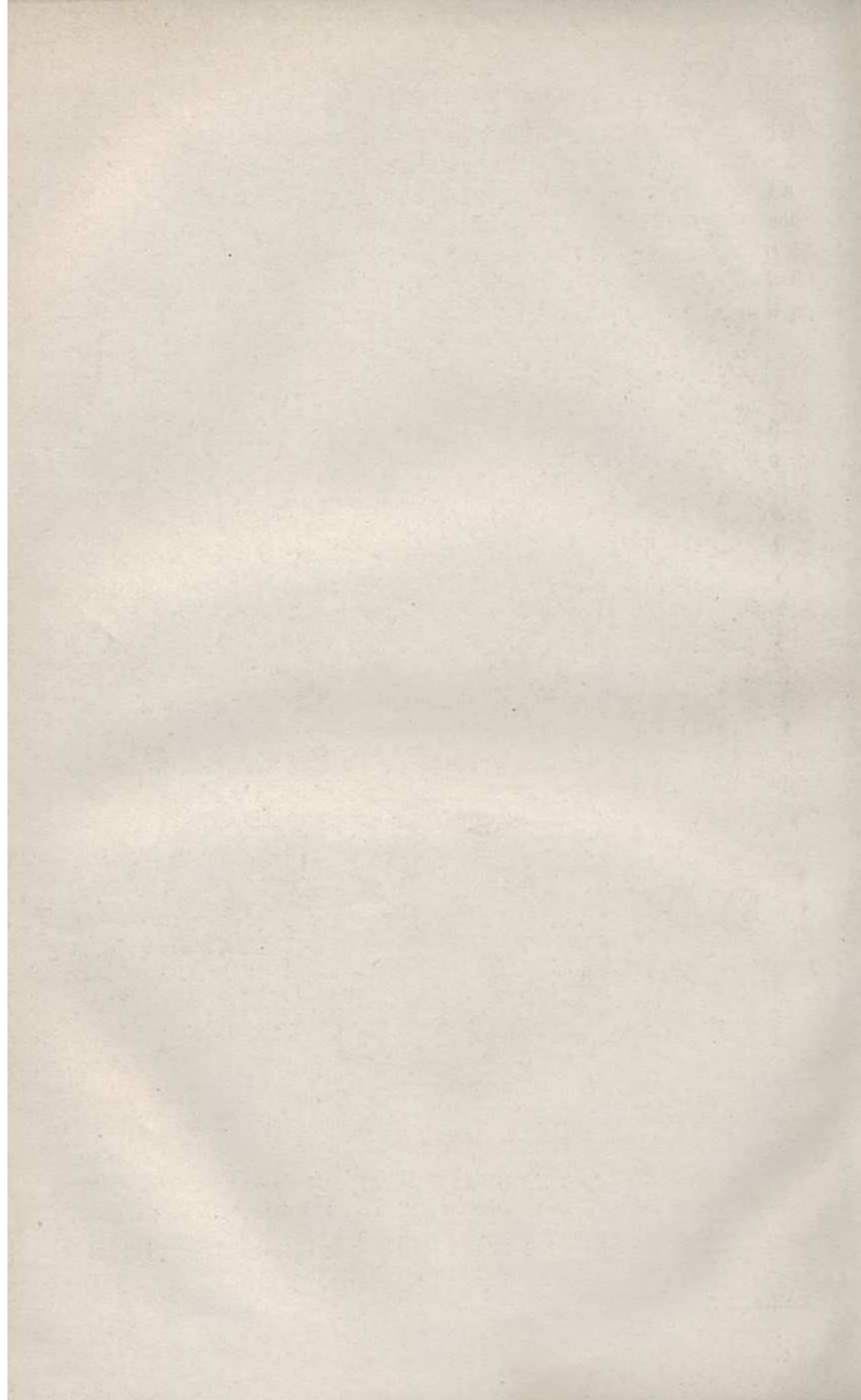
Saradays Werk wurde in würdiger Weise in seinem Heimatland von Maxwell fortgesetzt, der die neuen Vorstellungen, die Saraday in die Lehre vom Magnetismus und der Elektrizität einführte, in die den Sachleuten geläufige mathematische Formelsprache brachte und damit dem allgemeinen Verständnis erschloß. Nur zögernd allerdings und oft fast widerwillig wurden die neuen Lehren und Vorstellungen aufgenommen, namentlich auf dem Kontinent. Aber gerade von hier aus, von Deutschland, gingen aus den Händen des genialen Herk die





*Hermann von Helmholtz*







Versuche hervor, die endgültig die Entscheidung zugunsten der neuen Saraday=Maxwell'schen Anschauung gegeben haben. Weder Saraday noch Maxwell selbst haben freilich diesen Triumph noch erleben dürfen. Die moderne Elektrizitätslehre ruht ganz auf dem Fundament, das Saradays Genie errichtet hat. In der Geschichte der Elektrizitätslehre wird sein Name stets als einer ihrer größten Förderer mit Ehrfurcht genannt werden.

## V. Hermann v. Helmholtz.

Während die Verdienste der Männer, denen die bisherigen Zeilen gewidmet waren, im wesentlichen auf einem einzigen Wissensgebiet, der Physik, und auch in dieser wiederum fast ausschließlich in einem Teilgebiet dieser Wissenschaft liegen, tritt uns in H. v. Helmholtz ein Naturforscher von einer Universalität entgegen, die stets Bewunderung hervorgerufen hat. Helmholtz hat nicht nur in allen Teilen der Physik Untersuchungen angestellt, auch die Physiologen dürfen ihn mit vollem Recht als einen ihrer hervorragendsten Führer für sich in Anspruch nehmen. Die Medizin verdankt ihm wertvolle Entdeckungen, er hat sich eingehend mit Problemen der Erkenntnistheorie beschäftigt, die Meteorologie verdankt ihm mächtige Förderung. Es ist ganz unmöglich, in dem hier gegebenen Rahmen auch nur annähernd sein Lebenswerk erschöpfend darzustellen. Es kann sich nur darum handeln, die Höhepunkte seines Schaffens zu beleuchten.

H. v. Helmholtz ist ein Sohn der Mark. Er wurde am 21. August 1821 in Potsdam als ältester Sohn des Gymnasiallehrers Ferdinand Helmholtz geboren. Die Eltern, die beide mit großer Zärtlichkeit an ihrem etwas schwächlichen stillen Kinde hingen, haben das Glück gehabt, noch den aufsteigenden Ruhm ihres Sohnes zu erleben. Schon früh zeigte sich die Vorliebe des Knaben für die Naturwissenschaften, und nach glänzend bestandenem Abiturientenexamen war es sein Wunsch, sich ganz ihrem Studium zu widmen. Bei den beschränkten Mitteln, die dem Vater zu Gebote standen, war die einzige Möglichkeit, diesen Wunsch zu erfüllen, dadurch gegeben, daß der junge Hermann das Studium der Medizin ergriff. So trat er 1838 als Eleve in das Königl. medizinisch-chirurgische Friedrich-Wilhelms-Institut in Berlin ein. Die Verpflichtung, sich so zunächst hauptsächlich mit den organischen Naturwissenschaften zu beschäftigen, die übrigens Helmholtz selbst nie als



Zwang empfunden hat, wurde für ihn von besonderer Bedeutung. Sie gab ihm die breite Grundlage in der Beherrschung des gesamten Gebietes der Naturwissenschaften, die ihn befähigte, alle Probleme mit weitem Blick zu umfassen, ein Merkmal aller seiner Arbeiten. Dazu kam die gründliche Beschäftigung mit den sogenannten Geisteswissenschaften vom Gymnasium her, wo er das Glück hatte, von seinem für alles Ideale begeisterten Vater unterrichtet zu werden, der selbst verschiedene philologische, von den Sachgenossen geschätzte Abhandlungen verfaßt hat. So gewissenhaft es Helmholtz auf dem Friedrich-Wilhelms-Institut mit dem Studium der Medizin nahm, so fand er doch noch Zeit, seine allgemeine Bildung in für seine späteren Arbeiten höchst bedeutungsvoller Weise durch das Studium der höheren Mathematik, namentlich der Infinitesimalrechnung, zu vervollständigen, wozu er durch die Werke von Euler, Lagrange und anderer großer Mathematiker angeregt wurde, auf die er bei der Ordnung der Bibliothek des Instituts gestoßen war.

Unter den damaligen Dozenten an der Universität hatte der Physiologe Johannes Müller den größten Einfluß auf ihn, unter dessen Leitung Helmholtz auch seine erste selbständige Arbeit, zugleich seine Doktor-Dissertation, anfertigte, die dem Gebiete der mikroskopischen Anatomie angehört. Er weist darin nach, daß die Nervenfasern aus den Ganglienzellen entspringen, eine für die Nervenphysiologie wichtige Tatsache. Seine nächste Arbeit betraf die Erscheinungen der Säulnis und der Gärung, an deren Deutung sich damals ein heftiger Streit zwischen den Anhängern und den Gegnern der vielbesprochenen Annahme einer besonderen „Lebenskraft“ knüpfte. Helmholtz' Untersuchung trug nicht unwesentlich zur Klärung der tatsächlichen Vorgänge bei, wenn auch die völlige Lösung der Fragen erst Pasteur zu danken ist. Helmholtz konnte in dieser Arbeit im wesentlichen die Ergebnisse von früheren Untersuchungen verschiedener Forscher, z. B. Spallanzani und Franz Ferdinand Schulze, bestätigen, durch die das Nichtbestehen einer sogenannten Urzeugung, *generatio aequivoca*, nachgewiesen war, d. h. Entstehung von Lebewesen aus toter Materie.

In der Gedankenrichtung steht diese Arbeit über die Erscheinungen der Säulnis und Gärung schon in inniger Beziehung zu der berühmten Abhandlung „Über die Erhaltung der Kraft“, mit der er bald darauf die wissenschaftliche Welt überraschte. Inwiefern hier eine nahe Gedankenverwandtschaft besteht, hat er selbst am besten in einer im Jahre



1869 bei Gelegenheit der Eröffnung der Naturforscherversammlung gehaltenen Rede mit folgenden Worten dargelegt:

„Mehr oder weniger durch Worte verdeckt war und ist, namentlich außerhalb Deutschlands, noch jetzt die Ansicht von Paracelsus, Helmont und Stahl verbreitet, daß eine „Lebensseele“ die organischen Vorgänge regiere, die mehr oder weniger ähnlich begabt sei, wie die bewußte Seele des Menschen. Zwar wurde der Einfluß der unorganischen Naturkräfte auch in den Organismen anerkannt, indem man annahm, daß die Lebensseele Macht über die Materie nur mittels der physikalischen und chemischen Kräfte der Materie selbst habe, und also ohne deren Hilfe nichts ausführen könne, daß ihr aber die Fähigkeit zukomme, die Wirksamkeit dieser Kräfte zu binden und zu lösen, je nachdem es ihr gut scheine. Nach dem Tode, nicht mehr gebunden durch den Einfluß der Lebensseele oder Lebenskraft, seien es gerade die chemischen Kräfte der organischen Masse, welche die Säulnis herbeiführten. Übrigens blieb bei allem Wechsel der Ausdrucksweise, mochte man nun vom Archäus oder von der Animainscia oder von der Lebenskraft und Naturheilkraft sprechen, die Fähigkeit, den Körper planmäßig aufzubauen und sich zweckmäßig den äußeren Umständen zu accommodieren, das wesentlichste Attribut dieses hypothetischen regierenden Prinzips der vitalistischen Theorie, für welches, seinen Attributen nach auch nur der Name einer „Seele“ wirklich paßte.

Es ist aber klar, daß die genannte Vorstellung dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft direkt widerspricht. Könnte die Lebenskraft die Schwere eines Gewichtes zeitweilig aufheben, so würde dasselbe ohne Arbeit zu beliebiger Höhe geschafft werden können, und später, wenn die Wirkung seiner Schwere wieder freigegeben wäre, beliebig große Arbeit zu leisten vermögen. So wäre Arbeit ohne Gegenleistung aus nichts zu schaffen. Könnte die Lebenskraft zeitweilig die chemische Anziehung des Kohlenstoffs zum Sauerstoff aufheben, so würde Kohlen säure ohne Arbeitsaufwand zu zerlegen sein, und der frei gewordene Kohlenstoff und Sauerstoff wieder neue Arbeit leisten können.“

Für die Erscheinungen an der nichtlebenden toten Materie bestand schon lange die Ansicht, daß ein solches Entstehen von Arbeit ohne Gegenleistung aus nichts niemals vorkomme, daß also mit anderen Worten ein perpetuum mobile, d. h. eine periodisch wirkende Maschine, die von selbst, d. h. ohne Aufwand irgendeines anderen Agens beliebig viel Arbeit liefern könne, wie etwa eine Uhr, die



sich stets von selbst wieder aufzieht, unmöglich sei. Es sei besonders betont, daß unter einem perpetuum mobile nicht, wie man nach der nicht sehr glücklichen Wortbildung wohl meinen könnte, ein sich fortwährend bewegendes Körper zu verstehen ist. Nach dem Galileischen Trägheitsgesetz wäre ja jeder Körper, der einmal in Bewegung gesetzt ist, und der sonst keinen weiteren Kräften unterworfen ist, ein solches perpetuum mobile. Es ist hier vielmehr die beständige Arbeitsleistung ohne entsprechendes anderweitiges Äquivalent gemeint. Langjährige Erfahrungen hatten zu der Überzeugung geführt, daß die Konstruktion eines perpetuum mobile unmöglich sei. (Siehe die Ansicht von Huygens darüber, Seite 53.) Dementsprechend hatte bereits 1775 die französische Akademie den Beschluß gefaßt, Arbeiten über die Erfindung eines perpetuum mobile nicht aufzunehmen. Es hat jedoch noch vieler Arbeit bedurft, um das hier zugrunde liegende Naturgesetz festzulegen. Man hatte die Erkenntnis aus der Erfahrung gewonnen, daß zur Leistung einer Arbeit irgendwelches Äquivalent eines anderen Agens erforderlich sei.

Hatten die Versuche Helmholtz' über Säulnis und Gärung in letzter Linie die Frage der Möglichkeit eines perpetuum mobile in der Welt der Lebewesen im Auge, so beschäftigten ihn nach Beendigung dieser Arbeit Gedanken über die allgemeine Bedeutung, welche die Unmöglichkeit eines perpetuum mobile für die Vorgänge in der Natur besitzen. Er konnte sich damals gründlich in den Gegenstand vertiefen, da er 1843 als Eskadronchirurg in das königliche Garde-Husarenregiment in Potsdam versetzt war, eine Stellung, die ihm reichlich freie Zeit zu eigener Arbeit ließ. Er blieb zwei Jahre in dieser Stellung, um 1845 zur Ablegung des medizinischen Staatsexamens wieder nach Berlin zu gehen. Nach vorzüglich bestandenem Examen kehrte er 1846 wieder nach Potsdam zurück, wo er seine Studien eifrig fortsetzte, in ständigem teils brieflichen, teils mündlichen wissenschaftlichen Verkehr mit seinen fast gleichalterigen Freunden Du Bois-Reymond und Brücke. Das folgende Jahr 1847 sollte für ihn in mehrfacher Beziehung bedeutungsvoll werden.

Im März dieses Jahres fand seine Verlobung mit Olga von Velten statt, die er zwei Jahre später als Gattin in das eigene Heim einführen konnte. In das gleiche Jahr fällt aber auch seine wissenschaftliche Großtat, durch die er mit einem Schlage in die Reihen der hervorragendsten Physiker eintrat. Am 23. Juli 1847 trug er in der Sitzung der Berliner Physikalischen Gesellschaft den wesentlichen Inhalt seiner Ab-



handlung „Über die Erhaltung der Kraft“ vor. Die große Bedeutung der Helmholtz'schen Schrift besteht, kurz gesagt, darin, daß in ihr gezeigt wird, daß ein perpetuum mobile nicht nur im Gebiet der reinen Mechanik, sondern auch bei Heranziehung aller anderen bekannten Naturkräfte, der thermischen, elektrischen, magnetischen Vorgänge unmöglich ist, daß es keine Möglichkeit gibt, auf irgendeinem Wege Arbeit zu leisten ohne Verbrauch einer ihr genau äquivalenten Energiemenge, die irgendeinem anderen Energievorrat entnommen wird, sei dieser nun mechanischer, thermischer, elektrischer oder magnetischer Natur. Er zeigte, daß alle bisher bekannten Beziehungen der Erscheinungen in der unbelebten Natur quantitativ, zahlenmäßig mit der Annahme der Unmöglichkeit eines perpetuum mobile in Einklang sind. Es ist nicht möglich, durch irgendwelche Anordnung auch nur die kleinste Arbeit zu leisten ohne Aufwendung irgendeiner dieser Arbeit gleichen Menge eines anderen Arbeitsäquivalentes. Ebenso wenig aber geht eine Arbeitsfähigkeit irgendwelcher Form jemals aus der Welt verloren.

Den Ausgangspunkt seiner Abhandlung bildet das Prinzip der Erhaltung der lebendigen Kraft, ein schon vor ihm bekannter Satz der Mechanik, der besagt, daß bei freien mechanischen Systemen beliebiger Art, z. B. also bei dem Planetensystem, die Summe aller lebendigen Bewegungskräfte stets denselben Zahlenwert annimmt, wenn alle Massen des Systems bei der Bewegung wieder dieselbe gegenseitige Lage einnehmen, auf welchem Wege auch diese Lage erreicht ist. Die lebendige Kraft eines Systems wird dabei erhalten, indem man für jeden Massenpunkt das halbe Produkt aus seiner Masse und dem Quadrat seiner Geschwindigkeit bildet und alle diese Produkte zusammenzählt.

Dieses Prinzip läßt sich aus den Newton'schen Bewegungssätzen ableiten, wenn man noch die Voraussetzung macht, daß die Massenpunkte sich nur unter der Einwirkung von Kräften bewegen, die von Punkt zu Punkt in der Richtung der Verbindungslinie wirken, und daß ihre Intensität nur von deren Entfernung abhängt, daß die Kräfte sogenannte Zentralkräfte sind. Helmholtz zeigt nun zunächst, daß man auch umgekehrt von der Unmöglichkeit des perpetuum mobile ausgehen kann, das sich mathematisch als Prinzip der lebendigen Kraft darstellt, und daß man hieraus unter Benutzung der Newton'schen Gesetze folgern kann, daß die von Punkt zu Punkt wirkenden Kräfte Zentralkräfte sein müssen.

Das Prinzip der lebendigen Kraft, das also gleichbedeutend ist mit dem Prinzip der Unmöglichkeit des perpetuum mobile auf dem Ge-



biet der Mechanik, kann man auch so aussprechen, daß die Differenz der lebendigen Kraft und der von den wirkenden Kräften geleisteten Arbeit stets konstant bleibt in einem freien System. Helmholtz bringt es nun auf eine Form, in der es als Satz von der Konstanz der Summe einer bestimmten dem gegebenen System innewohnenden Größe erscheint. Man braucht hierzu bloß anstatt des Begriffes der von den Kräften geleisteten Arbeit die ihr gleiche aber entgegengesetzte Größe einzuführen, dann erscheint das eben genannte Prinzip nicht in Form der Konstanz einer Differenz, sondern der Konstanz einer Summe, nämlich der Summe der lebendigen Kraft und dem Negativen der von den Kräften geleisteten Arbeit; diese letztere Größe nennt Helmholtz die Quantität der Spannkräfte. Das Prinzip der Erhaltung der lebendigen Kraft läßt sich dann also in der Form aussprechen: Die Summe der vorhandenen lebendigen und Spannkräfte eines freien Systems ist konstant. In dieser Form bezeichnet Helmholtz das Gesetz als: Prinzip von der Erhaltung der Kraft.

In dieser Form tritt es als universell gültiges Gesetz dem ebenso allgemein gültigen Prinzip von der Erhaltung der Materie an die Seite. Zunächst ist also das Prinzip nur unter der Annahme bewiesen, daß die wirkenden Kräfte Zentralkräfte sind. In der Einleitung seiner Schrift stellt nun Helmholtz den Satz auf, daß es das Ziel der Physik sein müsse, alle Vorgänge in letzter Linie auf Wirkung von Zentralkräften zurückzuführen. Danach müßte also das Prinzip von der Erhaltung der Kraft nicht nur in der Mechanik, sondern auf dem ganzen Gebiet der Physik gelten.

Es ist immer im Auge zu behalten, daß unter Kraft hier nicht die Galilei-Newton'sche Kraft (Masse mal Beschleunigung) zu verstehen ist, sondern Wirkung der Kraft, Arbeitskraft, Energie, Fähigkeit Arbeit zu leisten. Man nennt deshalb auch zweckmäßigerweise, um Verwechslungen zu vermeiden, das Gesetz das Prinzip der Erhaltung der Energie. Anstatt von Bewegungskraft spricht man von der kinetischen Energie, anstatt von Spannkräften von Energie der Lage. Arbeitsfähigkeit kann ein System haben entweder aktuell in der Bewegung seiner Massen, wie etwa eine abgeschossene fliegende Flintenfugel ein Brett durchbohren kann, oder latent durch eine Zwangsanordnung seiner Massen, wie es etwa in einer gespannten Feder, einem gehobenen Gewicht u. dgl. der Fall ist. Bei Lösung des Zwanges kann das System diese latente Arbeitsfähigkeit betätigen.



Die Energie, Arbeitsfähigkeit im Naturganzen bleibt bei allen Veränderungen in der Natur ewig und unverändert dieselbe. „Alle Veränderungen in der Natur bestehen darin, daß die Arbeitskraft ihre Form und ihren Ort wechselt, ohne daß ihre Quantität verändert wird. Das Weltall besitzt ein für allemal einen Schatz von Arbeitskraft, der durch keinen Wechsel der Erscheinungen verändert, vermehrt oder vermindert werden kann, und der alle in ihm vorgehenden Veränderungen unterhält.“

In seiner berühmten Schrift zeigt nun Helmholtz in knapper aber inhaltreichster Form die Gültigkeit des Prinzipes auf allen Gebieten der Physik. Ich muß der Verlockung widerstehen, seine Gültigkeit an einzelnen Beispielen zu erläutern. Es sei nur verwiesen auf den von Helmholtz selbst gehaltenen populären Vortrag: „Über die Erhaltung der Kraft“ (H. von Helmholtz, Vorträge und Reden, Band 1, S. 147). Das Gesetz hat sich in der Folge tausendfältig bestätigt, nie ist eine ihm widersprechende Erscheinung gefunden; wo es wirklich einmal durchbrochen schien, wie bei der Strahlung der radioaktiven Substanzen, hat sich doch sehr bald seine Gültigkeit gezeigt. Ja, es ist uns allmählich so in Fleisch und Blut übergegangen, daß man es wohl als a priori evident hingestellt hat, was allerdings gänzlich verkehrt ist. Wie jedes andere Naturgesetz, ist es auf induktivem Wege gefunden, und durchaus eine Erfahrungstatsache.

In vielen Fällen, namentlich wo es sich um ganz neu aufgefundene Erscheinungen handelt, ist es der beste Führer. Falsch wäre aber die Ansicht, als ob durch das Energieprinzip die Naturvorgänge in ihrem Ablauf eindeutig bestimmt wären. Wo und wann sie sich abspielen, bleibt immer das Prinzip der Erhaltung der Energie gewahrt; das Energieprinzip sagt aber weder etwas darüber aus, ob eine Veränderung eintreten wird, noch in welcher Richtung. Es ist ein universelles Gesetz des Naturgeschehens, aber nicht das einzige.

Es schmälert den Ruhm Helmholtz' in der Aufdeckung des Gesetzes nicht, daß vor ihm, ihm allerdings ganz unbekannt, J. R. Mayer im wesentlichen dieselben Gedanken bereits ausgesprochen und veröffentlicht hat, allerdings in mehr qualitativer Weise, und mehr von Überlegungen philosophischer Art geleitet. Helmholtz hat diese Priorität in Wort und Schrift, stets wo sich nur Gelegenheit dazu bot, betont. Nur Neid und Mißgunst können das verkennen oder anders darstellen. Ihm bleibt jedenfalls gegenüber Mayer das Verdienst, zahlenmäßig streng



die Gültigkeit des Prinzips auf allen Gebieten der Physik nachgewiesen zu haben.

Es ist bekannt genug, daß die Abhandlung von Helmholtz von dem Redakteur der ersten physikalischen Zeitschrift zurückgewiesen wurde. Überhaupt war die Aufnahme seiner Schrift lange nicht so enthusiastisch, wie man erwarten sollte. Vielen waren die entwickelten Gedanken zu neu und zu frappierend; sie wurden zuerst nur zögernd angenommen, während Helmholtz, wie er selbst berichtet, eigentlich nur Tadel deswegen gefürchtet hatte, daß er als junger Mediziner es wage, den Physikern längst bekannte Dinge zu erzählen.

Das Jahr 1848 brachte ihm eine glückliche Veränderung seiner Lebensstellung. Er wurde auf besondere Empfehlung von Johannes Müller an Stelle von Brücke zum Lehrer der Anatomie an der Akademie der Künste ernannt, ein Amt, das ihm viel freie Zeit zur Forschung ließ.

Nur kurze Zeit bekleidete er dieses Amt. Schon im nächsten Jahre wurde er zu größeren, seinen Fähigkeiten entsprechenden Aufgaben ausersehen; im Mai 1849 wurde er, 28jährig, als Professor der Physiologie nach Königsberg berufen. Er hatte nun alles erreicht, was ihm zunächst begehrenswert war, eine Stelle, die seinen Neigungen und Talenten in gleicher Weise entsprach und ihm zudem die langersehnte Möglichkeit gewährte, seine Braut als Gattin heimzuführen.

Kaum hatte er sich in Königsberg eingerichtet und eingelebt, als er sich an die Ausführung einer Untersuchung machte, die wieder eine Tat ersten Ranges war. Es gelang ihm, die Sortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenreizung zu messen, zunächst an Fröschen, sodann auch an Menschen. Es ergab sich, daß diese Geschwindigkeit durchaus meßbar sei — noch 6 Jahre früher hatte Johannes Müller einen Versuch zur Messung dieser Geschwindigkeit für gänzlich aussichtslos erklärt, da diese mindestens etwa von der Ordnung der Lichtgeschwindigkeit sein müsse. Helmholtz fand z. B., daß es etwa  $\frac{1}{30}$  Sekunde dauere, bis ein Nervenreiz von den Zehen zum Gehirn gelangt. Die Resultate dieser Arbeiten machten begreiflicherweise überall gewaltiges Aufsehen und begegneten zunächst vielfachen Zweifeln.

In die Zeit seiner Königsberger Lehrtätigkeit, in das Jahr 1850, fällt auch diejenige Erfindung, die seinen Namen wohl am meisten für alle Zeiten in weiteren Kreisen bekanntgemacht hat, und ein Segen der leidenden Menschheit geworden ist, die Erfindung des Augen-



spiegels, wodurch er der gesamten Augenheilkunde einen gewaltigen Aufschwung gab. Der Augenspiegel gestattet, die Netzhaut des Auges am lebenden Menschen direkt zu betrachten. Der Hintergrund des Auges erscheint bei direkter Betrachtung vollkommen dunkel; es rührt dies daher, daß nach optischen Prinzipien bei optischen Systemen im Strahlengang leuchtendes Objekt und Bild vertauscht werden können, reziprok sind, so daß also Licht, das von einer Lichtquelle aus auf das darauf akkommodierte Auge einfällt und auf der Netzhaut abgebildet wird, von dort ausgehend wieder zur Lichtquelle zurückkehrt, also nicht in das Auge eines seitlich stehenden Beobachters gelangt, mithin die Pupille des beobachteten Auges vollständig schwarz erscheint. Will man also die Netzhaut sehen, so müßte man das eigene Auge direkt in die Richtung der aus der Netzhaut zurückkehrenden Strahlen bringen, was aber unmöglich erscheint, weil man ja dann das einfallende Licht abschneiden würde. Helmholtz löste das Problem in einfachster Weise, indem er die Lichtquelle seitlich vom beobachtenden und beobachteten Auge aufstellte und zwischen die beiden Augen eine durchsichtige Glasplatte unter solcher Neigung aufstellte, daß das beobachtete Auge das Spiegelbild der von der Glasplatte reflektierten Lichtquelle sieht. Bringt man nun das beobachtende Auge an eine Stelle der Verbindungslinien des Spiegelbildes der Lichtquelle und des beobachteten Auges, so kann man also genau in derselben Richtung in das fremde Auge hineinsehen, in das Licht hineinfällt, so daß der Beobachter wirklich Licht aus der Tiefe des beobachteten Auges empfängt und dessen Pupillen scheinbar leuchten sieht.

Es sind im Grunde ganz elementare Überlegungen, die Helmholtz gelegentlich der Vorbereitung zu einer Vorlesung zur Erfindung seines Augenspiegels führten, und sie ist an rein wissenschaftlichem Werte nicht im entferntesten mit den meisten seiner übrigen Arbeiten zu vergleichen, wie ja auch die ganze Ausarbeitung nur etwa 8 Tage in Anspruch genommen hat, aber es ist bei der großen praktischen Bedeutung des Instrumentes nicht verwunderlich, daß sie seinen Ruhm in weiten Kreisen begründete. Die schöne Erfindung — Herk nennt sie einmal den lieblichsten seiner Ruhmestitel — erwuchs aus der glücklichen Vereinigung von ausgebreiteten medizinischen und physiologischen mit mathematischen und physikalischen Kenntnissen, was ja überhaupt allen seinen Arbeiten der ersten Jahrzehnte seiner wissenschaftlichen Tätigkeit ihr eigenartiges universelles Gepräge gab.



1852 wandte er sich, nachdem seine Arbeiten über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenreizung zu einem gewissen Abschluß gekommen waren, einem ganz anderen Gebiet zu, der physiologischen Optik, auch hier eine Fülle von unerwarteten Resultaten bietend und Klarheit verbreitend. Eine Revision der Theorien der Farbenempfindung bildet das Thema seines Habilitationsvortrages bei der Übernahme des Ordinariates der Physiologie in Königsberg, das ihm 1852 übertragen wurde, nachdem er 4 Jahre lang außerordentlicher Professor gewesen war.

Doch nur kurze Zeit noch sollte sich die Königsberger alma mater des Besitzes des schon damals weitberühmten Gelehrten erfreuen. 1855 folgte Helmholtz einem Rufe als ordentlicher Professor der Anatomie und Physiologie an die Universität Bonn. So sehr er sich in Königsberg eingelebt hatte, so sehr war er doch im Interesse seiner Frau, die das rauhe Klima der nordischen Universitätsstadt nicht vertragen konnte und ernstlich erkrankt war, erfreut, in die milde Luft der Rheinstadt zu kommen. Es sind hauptsächlich Probleme der physiologischen Optik, die ihn hier weiter beschäftigen, sowie die Abfassung des Handbuches der physiologischen Optik, das er für ein großes, von Karsten in Kiel herausgegebenes physikalisches Sammelwerk schrieb, und bei dessen Bearbeitung sich ihm eine große Anzahl Versuche als wünschenswert herausstellte, an deren Durchführung er sich sofort selbst machte. So entstand sein „Handbuch der physiologischen Optik“, gleich bewunderungswürdig an umfassender Behandlung des gewaltigen Stoffes, wie an Feinheit und Zuverlässigkeit der Darstellung.

Einige der wichtigeren optischen Studien von Helmholtz mögen hier Platz finden. Zunächst zeigte er, wie wichtig es ist, bei dem Studium der Einwirkungen von Farbmischungen auf das Auge, nicht wie man bisher meist zu tun pflegte, Farbstoffe, sondern reine Spektralfarben zu nehmen. So gibt bekanntlich die Mischung gelben und blauen Farbstoffes Grün, dagegen Gelb und Blau als reine Spektralfarben gemischt Weiß.

Auf diese Erkenntnis gestützt, ging er nun an die Wiederaufnahme und den Ausbau der schon einige Jahrzehnte früher von Young angegebenen Farbentheorie. Es gibt danach drei Grundempfindungen für Farben: Rot, Grün, Violett; alle vorkommenden Farbenempfindungen werden hervorgebracht durch gesonderte oder gleichzeitige Erregung dieser drei Grundempfindungen. Im einzelnen hat die Theorie



der Farbenempfindungen noch viele Wandlungen durchgemacht, aber der Grundfern der Young-Helmholzschen Lehre ist doch erhalten geblieben. Großes Verdienst hat sich ferner Helmholtz erworben um die Aufklärung der Vorgänge, welche die Akkommodation des Auges ermöglichen, d. h. die das Auge befähigen, sich in kürzester Zeit so einzustellen, daß von dem betrachteten Gegenstand, in welcher Entfernung vom Auge er sich auch befindet (falls diese nur nicht zu klein ist), ein scharfes Bild auf der Netzhaut entsteht. Das Auge ist vergleichbar einer photographischen Kamera. Die Augenlinse entspricht dem Objektiv, die Netzhaut der photographischen Platte. Wie jedem die Kunst des Photographierens Ausübenden geläufig, muß man je nach der Entfernung des zu photographierenden Gegenstandes „einstellen“, d. h. den Abstand zwischen Objektiv und Aufnahmeplatte richtig wählen. Wäre man in der Lage, die Krümmungen der Vorder- und Hinterfläche der Linse nach Belieben zu ändern, was allerdings bei Glaslinsen nicht möglich ist, aber bei Linsen aus Gelatine sich leicht verwirklichen ließe, indem man sie etwa zwischen zwei Gummibänder bringt und an den Enden dieser Bänder mehr oder weniger stark zieht, so braucht man sich zur Einstellung auf nahe oder ferne Gegenstände nur dieses Mittels zu bedienen, ohne den Abstand zwischen Objektiv und Platte ändern zu müssen. Helmholtz zeigt, daß etwas dem letzten Verfahren Ähnliches tatsächlich bei der Akkommodation des Auges ein wesentliches Moment ist.

Es sei schließlich noch die Erfindung des Telestereostopes erwähnt, das gestattet, auch ferne Gegenstände plastisch zu sehen, was beim gewöhnlichen Sehen wegen des nahen Abstandes der Augen nicht über eine Entfernung von etwa 200 m möglich ist. Wie beim Augenspiegel ist die Lösung der Aufgabe wieder von überraschender Einfachheit. Aus den Grundlehren über das körperliche Sehen folgt nämlich, daß man viel weiter plastisch sehen könnte, wenn der Abstand der Augen bedeutend größer wäre, als er tatsächlich ist. Helmholtz erreicht denselben Effekt in der einfachsten Weise, indem er vor jedes Auge einen vertikal stehenden unter  $45^\circ$  gegen die durch die beiden Augen gehenden Vertikalebene geneigten Spiegel und in einigem Abstand zu beiden je einen dem ersten parallelen Spiegel aufstellt. Das Licht des fernen Objekts fällt also nach zweimaliger Reflexion unter rechtem Winkel ins Auge, so daß also jedes Auge den fernen Gegenstand in einer solchen perspektivischen Projektion erblickt, wie er von den bei-



den letzteren Spiegeln aus erscheinen würde. Dieses Instrument ist heute zu großer Vollkommenheit ausgearbeitet und dient vielfachen Zwecken.

Nicht ganz unerwähnt lassen möchte ich eine hochbedeutsame Arbeit Helmholtz' auf mathematisch-physikalischem Gebiet, die 1857 in Bonn entstand und besonders auch die Bewunderung der Mathematiker erregte. Sie ist betitelt: „Über Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen.“ Es wird in jener Arbeit gezeigt, daß (bei Vernachlässigung der Reibung) die Wirbel in Flüssigkeiten Gebilde von merkwürdigen Eigenschaften sind. Diejenigen Wasserteilchen, die nicht schon Rotationsbewegung haben, bekommen niemals Rotationsbewegung. Es sind stets dieselben Wasserteilchen, die eine Wirbellinie bilden und fortdauernd rotieren; eine solche Wirbellinie schwimmt also wie ein wirklicher Faden aus fester Substanz in der Flüssigkeit fort. Ferner findet sich an einem Wirbelfaden noch eine weitere merkwürdige Konstanz. Es behält nämlich das Produkt aus Rotationsgeschwindigkeit und Querschnitt in einem aus demselben Wasserteilchen bestehenden Stück eines Wirbelfadens stets zu allen Zeiten denselben Wert, und dieser Wert ist ferner derselbe an allen Stellen des Wirbelfadens. Wo also ein Wirbelfaden eng ist, ist die Rotationsgeschwindigkeit groß und umgekehrt. Das Produkt der beiden Größen ist etwas für den betreffenden Wirbelfaden Charakteristisches, was sich nicht mit der Zeit ändert; ebensowenig wie sich etwa die Masse eines Atoms im Laufe der Zeit ändert. Lord Kelvin hat die Hypothese aufgestellt, daß diese letztere Analogie nicht nur eine äußerliche, sondern tief begründet ist. Ein Atom soll nach ihm direkt ein solcher Wirbelring im Äther sein.

Nur kurze Zeit dauerte die Lehrtätigkeit Helmholtz' in Bonn. Nach längeren Verhandlungen gelang es der Universität Heidelberg 1858, ihn für die dort neu begründete ordentliche Professur der Physiologie zu gewinnen. Er siedelte im Herbst in die herrliche Neckarstadt über, die ihm nun 13 Jahre lang seine Heimat werden sollte. Im Verein mit Bunsen und Kirchhoff führte er hier eine Zeit der Höhe wissenschaftlichen Schaffens und Wirkens herbei, wie sie idealer kaum gedacht werden kann.

Das erste Heidelberger Jahr 1859 brachte Helmholtz tiefschmerzliche Ereignisse. Im Juni starb sein Vater, der sich noch herzlich über den wachsenden Ruhm und das Familienglück seines Sohnes gefreut



und auch, soweit möglich, stets lebhaften Anteil an dessen wissenschaftlichem Streben und Arbeiten genommen hatte, wie der eifrige noch erhaltene Briefwechsel zwischen Vater und Sohn erkennen läßt. Im Dezember desselben Jahres verlor Helmholtz nach 10jähriger glücklicher Ehe auch seine geliebte Frau, die schon monatelang schwer gelitten hatte. Nur mühsam raffte sich Helmholtz nach den schweren Schicksalsschlägen dieses Jahres wieder zu neuer wissenschaftlicher Tätigkeit auf.

Die ersten Jahre seines Heidelberger Aufenthaltes sind wesentlich der Vollendung und Weiterführung von Studien über die Tonempfindungen gewidmet, die er schon in Bonn begonnen hatte. Das Ergebnis dieser Arbeiten ist in zusammenhängender auch Laien verständlicher Darstellung niedergelegt in einem 1862 erschienenen Werke, das von jeher als ein Muster von populärer Darstellungsart, verbunden mit wissenschaftlicher Strenge, bewundert worden ist, in der „Lehre von den Tonempfindungen“. Man weiß nicht, was man mehr bewundern soll, den eleganten Stil, die Fülle des Neuen, oder das feine Gefühl für Ästhetik, das sich überall in diesem Buche ausspricht. Es soll ein Lehrbuch sein, insofern es die Akustik, soweit sie für die Tonempfindungen grundlegende Bedeutung hat, von Grund aus entwickelt und allmählich zu Schwierigerem aufsteigt. Helmholtz löst darin das alte Rätsel der Konsonanz und Dissonanz. Warum ist die Quinte ein angenehmes, die Sekunde ein unangenehmes Intervall? Er löst die Frage der Klangfarbe. Wie kommt es, daß ein Ton in derselben Tonhöhe auf dem Klavier, von der menschlichen Stimme, von der Flöte angegeben, ganz verschieden klingt? Was macht das Wesen des Vokalklanges aus? Woher kommt die merkwürdige Erscheinung, daß man bei gleichzeitigem Erklängen zweier verschieden hoher Töne einen dritten Ton hört, dessen Schwingungszahl im allgemeinen gleich der Differenz der Schwingungszahlen der beiden gegebenen Töne ist? Durch welche Einrichtung ist das Ohr befähigt, irgendeine gegebene periodische Schwingung von kompliziertem Charakter zu zerlegen in seine einfachsten Bestandteile? Zu allen diesen Problemen, die sich schon lange aufgedrängt hatten, aber stets der Aufklärung widerstanden hatten, gibt er in jenem Buch die Lösung oder plausible Erklärung. Sie konnte nur gegeben werden von einem Forscher, der, wie Helmholtz, die Kenntnisse eines Mathematikers, Anatomen, Physiologen, Physikers und Kunstkenners in gleich hervorragender Weise in sich ver-



einigte. So verlockend es ist, hier einige der besonders interessanten Punkte dieses Buches zu besprechen, so muß doch an dieser Stelle davon Abstand genommen werden. Ein volles Verständniß der darin behandelten Fragen und ihrer Lösung würde zu ausgedehnte Erörterungen verlangen.

Vor dem Erscheinen dieses Werkes gab es überhaupt fast gar keine wissenschaftliche Behandlung der meisten jener Fragen, man tappte vielfach ganz im Dunklen. Helmholtz erst hat hierin die Lehre von den Tonempfindungen geschaffen und auch sofort auf eine Höhe gehoben, die noch heute wenig überschritten ist. Sein Werk ist noch immer dasjenige, auf das die Forschung stets zurückgehen muß. Es soll nicht unerwähnt bleiben, daß eine ganze Reihe der von Helmholtz dort aufgestellten Lehren nach und nach heftige Kritik, ja zum Teil völlige Ablehnung erfahren haben; doch sind bündige, allgemein anerkannte Gegenbeweise wohl noch nirgends mit voller Sicherheit erbracht worden, und es ist nicht unmöglich, daß die Helmholtzschen Theorien sich in der Folge, wenigstens in der Mehrzahl, als völlig richtig erweisen werden. Wie dem auch sei, die Lektüre dieses Helmholtzschen Buches, wohl das in sich abgeschlossenste, das er geschaffen hat, bereitet auch dem Nichtphysiker, namentlich dem Musikfreund, der sich gern einige Klarheit über das Wesen der Klänge verschaffen möchte, einen hohen ästhetischen Genuß, schon durch die Fülle feiner Bemerkungen, die sich überall in dem Buche finden. Der Verfasser würde erfreut sein, wenn diese Zeilen den einen oder den andern seiner Leser dazu anregen, einen Blick in dieses Werk zu tun. Es beeinträchtigt ja die Freude an dem Wohlklang eines Dreiklangs nicht, wenn man weiß, warum er gut klingt. Helmholtz selbst ist zeit seines Lebens einer der feinsinnigsten Freunde guter Musik gewesen. So war er ein ständiger Besucher der von Meister Joachim veranstalteten Quartettabende in Berlin; auch in Bayreuth war er ein oft gesehener Gast.

In das Jahr 1861 fällt seine Verheirathung mit Anna Mohl.

1866 erschien der letzte Teil seines großen Handbuches der physiologischen Optik. Von besonderem Interesse sind für weitere Kreise die erkenntnistheoretischen Ansichten, zu denen er durch seine intensive ausgedehnte Beschäftigung mit der physiologischen Optik allmählich gelangt war, und die er zum Teil in der physiologischen Optik, zum Teil in selbständigen Schriften niedergelegt und auseinandergesetzt hat. Anatomie und Physiologie lehren, daß auf der Netzhaut ein flächen-



haftes Bild der Gegenstände der Außenwelt entsteht, und daß ferner die verschiedenen Teile dieses Bildes verschiedene Nervenfasern erregen. Es erhebt sich nun die Frage, was zu dieser räumlichen Trennung der empfindenden Nerven noch hinzutritt, wodurch nun in der Anschauung die entsprechende räumliche Trennung dieser Eindrücke hervorgebracht wird. Wie kommt es, daß wir die Empfindungen, die uns die räumlich getrennten Nervenfasern der Nethaut vermitteln, auch auf räumlich getrennte Teile des Gesichtsfeldes beziehen?

In der Beantwortung dieser wichtigen Frage stehen zwei grundsätzlich verschiedene Anschauungen einander schroff gegenüber. Die eine, als nativistisch bezeichnet, deren Führer Johannes Müller war, vertritt die Ansicht, daß diese räumliche Anschauung angeboren sei, daß gleichsam die räumlich ausgedehnte Nethaut sich selbst in der räumlichen Ausdehnung empfinde, womit natürlich eine weitere Erklärung von vornherein abgeschnitten ist.

Ihr gegenüber steht die sogenannte empiristische schon von Locke ausgesprochene Theorie der Raumanschauung, der sich nun auch Helmholtz vollständig anschließt und die er mit einer Fülle von Beweismaterial stützt. Danach geben uns die Sinnesempfindungen nichts weiter als Zeichen für Vorgänge, die in unserer äußeren Umgebung stattfinden; durch vielfältige Erfahrung und Übung müssen wir allmählich lernen, sie uns zu deuten, die Bedeutung jener Zeichen zu verstehen und zu verwerten. Wir können fortwährend dabei irren und müssen fortwährend an der Erfahrung die Schlüsse korrigieren, die wir über die tatsächlichen äußeren Vorgänge aus jenen von den Sinnesempfindungen übermittelten „Zeichen“ ziehen. „Die Übereinstimmung zwischen den Gesichtswahrnehmungen und der Außenwelt beruht ganz oder wenigstens der Hauptsache nach auf demselben Grunde, auf dem alle unsere Kenntnis der wirklichen Welt beruht, nämlich auf der Erfahrung und der fortdauernden Prüfung mittels des Experimentes, wie wir es bei jeder Bewegung unseres Körpers vollziehen.“

Seine Studien führen ihn auch dazu, die Annahme Kants von der Apriorität und transzendentalen Natur der geometrischen Axiome zu verwerfen. Er zeigt (siehe z. B. seine Vorträge: „Über die Axiome der Geometrie“ und „Die Tatsachen in der Wahrnehmung und die Axiome der Geometrie“), daß „die Axiome der Geometrie, in demjenigen Sinne genommen, wie sie allein auf die wirkliche Welt an-



gewendet werden dürfen, durch Erfahrung geprüft, erwiesen, eventualiter auch widerlegt werden können." Nicht gegen die Kantsche Behauptung von der Transzendentalität der Raumanschauung an sich wendet sich Helmholtz, sondern dagegen, daß auch die Axiome der Geometrie transzendental sind, daß also die Raumanschauung bereits vor aller Erfahrung schon gewisse Bestimmungen enthält.

Absichtlich verläßt er diese stark ins Philosophische übergreifenden Studien, um sich wieder elektrischen Untersuchungen zuzuwenden. Er schreibt 1869 an Ludwig: „Ich fand, daß das viele Philosophieren zuletzt eine gewisse Demoralisation herbeiführt und die Gedanken lag und vage macht, ich will sie erst wieder eine Weile durch das Experiment und durch Mathematik disziplinieren.“ Es waren nun hauptsächlich Untersuchungen auf dem Gebiete der Theorie der Elektrodynamik, die ihn beschäftigten und auf längere Zeit festhielten.

Schon längere Zeit hatte es ihn besonders zur Beschäftigung mit der reinen Physik hingezogen, für die er eine besondere Vorliebe hatte. Helmholtz schreibt selbst: „Die Physik war eigentlich von jeher die Wissenschaft, der sich mein Interesse hauptsächlich zugewendet hatte; zur Medizin und durch sie zur Physiologie wurde ich wesentlich durch äußere zwingende Umstände geführt.“ 1871 trat ein Umstand ein, der es ihm nun endlich ermöglichte, fortan seine Kräfte ganz diesem seinen Lieblingsstudium zu widmen. Es wurde ihm die Nachfolgerschaft von Magnus in der ordentlichen Professur für Physik in Berlin übertragen.

Im Anfang seiner Berliner Zeit beschäftigten Helmholtz hauptsächlich noch die Weiterführung der bereits in Heidelberg begonnenen elektrodynamischen Untersuchungen. Von der Bedeutung dieser Arbeiten läßt sich ohne Voraussetzung eingehender Kenntnisse dieses Gebietes kein einigermaßen genügendes Bild geben. Nur folgende Punkte mögen hier hervorgehoben werden, um doch eine Vorstellung von Helmholtz' Verdiensten in dieser Richtung zu geben. In Deutschland herrschte um die Zeit, als Helmholtz an das Studium der Elektrodynamik herantrat, noch vollständig die Lehre von dem elektrischen und magnetischen Fluidum, dessen Teile aufeinander wechselseitig mit Fernkräften in ganz analoger Weise wie die Newtonsche Attraktionskraft umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung wirkten. Und gerade in Deutschland erreichte diese Theorie ihren Höhepunkt und das größte Ansehen, als es Wilhelm Weber gelungen war, auch die Erscheinungen der Induktion in das Kraftgesetz mit einzubeziehen,



indem er es mit Zusatzgliedern versah, die auch die Geschwindigkeiten und die Beschleunigungen der elektrischen bez. magnetischen Mengen enthielt. Allerdings waren nun die Kräfte anderer Art geworden als die reinen mechanischen Newtonschen Kräfte, deren eine Haupteigenschaft es ja gerade ist, daß sie unabhängig sind von der Art der Bewegung, in der sich die Mengen gerade befinden. Aber sie behielten immer noch mit den Newtonschen Kräften das gemeinsame Charakteristische bei, daß sie reine unvermittelte Fernkräfte waren, die momentan von einer Menge auf eine zweite wirkten, ohne daß eine Ausbreitungszeit nötig war. Demgegenüber hatte Faraday (siehe die vorige Lebensbeschreibung) eine gänzlich andere Theorie der Elektrizität aufgestellt. Die Hypothese der Fernkräfte wies er vollständig zurück. Er hatte, wie schon oben ausgeführt, die Vorstellung, daß die Kräfte wesentlich vermittelt würden durch das zwischen den beiden elektrischen Körpern liegende Medium, daß dieses in einen eigenartigen, von dem normalen abweichenden Zwangszustand, ähnlich einem elastischen Gerate, der in den kleinsten Teilen sich ausbildet und der dabei sich von Ort zu Ort mit endlicher Geschwindigkeit ausbreitet, so daß also eine gewisse Zeit erforderlich ist, bis sich dieser Zustand im Zwischenmedium von dem einen Körper zum anderen hin ausbreitet. Es ist auch bereits ausgeführt, daß sich diese Ideen selbst in Faradays Heimat wegen ihrer Neuheit und Schwerverständlichkeit nur sehr langsam ausbreiteten, auch nachdem Maxwell sie in das den Sachleuten gewohnte und verständliche mathematische Gewand gekleidet hatte.

Mit klarem Blick erkannte Helmholtz schon frühzeitig, als sonst in Deutschland kaum noch die neuen Faraday-Maxwellschen Vorstellungen Eingang fanden, ihre hohe Bedeutung. Seiner vorsichtig abwägenden Art gemäß schloß er sich nicht sofort der neuen Theorie der reinen Nahwirkung an. Sie war ja auch in der That damals noch nicht durch direkte Experimente als der alten Theorie überlegen erwiesen. So bestehen seine ersten Untersuchungen auf diesem Gebiet zunächst in einer kritischen Sichtung der bisherigen reinen Fernwirkungstheorien; ferner weist er nach, daß, wenn man die Faraday-Maxwellschen im Zwischenmedium eintretenden dielektrischen Polarisationen mit einführt und berücksichtigt — aber noch unter Beibehaltung der Hypothese der Fernkräfte —, unter gewissen Umständen und Voraussetzungen die bereits von Maxwell aus der Nahwirkungstheorie gezogenen Folgerungen erhalten werden, sich im Äther Transversalwellen mit



endlicher Geschwindigkeit ausbreiten, während Longitudinalwellen nicht auftreten.

In späteren Untersuchungen gelangt er dann zu dem Schluß, daß alle Fernwirkungstheorien zwar zu richtigen, d. h. mit der Erfahrung immer in Einklang stehenden Folgerungen führen, solange es sich um sogenannte geschlossene Ströme handelt, d. h. um elektrische Ströme, die ganz in der Bahn eines ringförmig geschlossenen Leitungsdrahtes verlaufen, also eben Ströme, die dauernd fließen können, und wie man sie sich gewöhnlich vorstellt, wenn von elektrischen Strömen die Rede ist; daß dagegen alle diese Theorien in irgendeiner Weise gegen die allgemeinen Axiome der Dynamik verstoßen, wenn man sie auf sogenannte ungeschlossene Ströme anwenden will. Ein solcher Strom wird z. B. erhalten in dem Moment, wo zwei durch einen Draht miteinander verbundene Platten elektrisch geladen werden, die eine positiv, die andere negativ. Nach der bisherigen Vorstellung hätte der Strom an den Platten plötzlich ein Ende, er wäre ungeschlossen. Nach Faraday sind jedoch auch in dem Moment, wo die Platten aufgeladen werden, infolge der sich in der ganzen Umgebung ausbildenden dielektrischen Polarisation, wobei in jedem kleinsten Teilchen ein kurzes Strömen der darin bisher verbundenen positiven und negativen Elektrizität nach entgegengesetzten Seiten stattfindet, kleine elektrische Elementarströme vorhanden, welche die direkte Fortsetzung des ungeschlossenen Stromes bilden, und ihn durch das Dielektrikum hindurch zu einem geschlossenen machen. Unter dieser Faradayschen Annahme stehen, wie Helmholtz zeigt, alle bisherigen, damals allerdings noch geringen Erfahrungen in Einklang, ohne in Konflikt mit anerkannten Prinzipien der Dynamik zu geraten.

Aus dem Jahre 1873 stammt eine Arbeit aus dem Gebiet der physikalischen Optik, die für die Biologie von besonderer Bedeutung ist: „Über die Grenzen der Leistungsfähigkeit der Mikroskope.“ Helmholtz fand, daß die Leistungsfähigkeit der Mikroskope nur noch unwesentlich über den damals bereits erreichten Grad hinaus würde gesteigert werden können. Fast gleichzeitig hatte auch der bekannte verstorbene Direktor der Zeißwerke, Abbe, dieselbe Frage mit ungefähr demselben Ergebnis behandelt.

Immer mehr Gebiete zieht Helmholtz nun in den Kreis seines Schaffens. 1877 beschäftigt er sich zum ersten Male mit Anwendung der mechanischen Wärmetheorie auf thermochemische Prozesse und Elek-



trochemie. Diese Arbeiten gipfeln zunächst in der Rede, die er 1881 in London zu Faradays Gedächtnis vor der dortigen chemischen Gesellschaft hielt. Helmholtz setzt darin höchst überraschende Schlüsse auseinander, die man aus den beiden von Faraday gefundenen Grundgesetzen der Elektrolyse mit zwingender Notwendigkeit ziehen muß. Diese führen nämlich zu der Folgerung, daß die Elektrizität nicht in beliebig kleinen Mengen vorkommt, sondern daß es, wenigstens bei den elektrolytischen Vorgängen, ein minimales Elementarquantum der Elektrizität von ganz bestimmter stets gleichbleibender Größe gibt, das also als eine neue Naturkonstante anzusehen ist. Die Elektrizität hat, wie man auch sagen kann, atomistische Struktur, es gibt Atome der Elektrizität. In kleineren Mengen als dieses Elementarquantum kommt die Elektrizität nicht vor. In Elektrolyten sind nun die an der Stromleitung beteiligten Ionen je nach ihrer chemischen Art mit 1 bez. 2 usw. solchen „Elementarquanten“ der Elektrizität verbunden. Man ist namentlich in den letzten Jahrzehnten zu der Erkenntnis von der großen Bedeutung dieser Elementarquanten für die elektrischen Erscheinungen gelangt, man hat ihre Ladung der Größe nach berechnet (Stoney, Richarz, Planck), man hat gefunden, daß die merkwürdigen Kathodenstrahlen solche mit großer Geschwindigkeit fliegende negative freie, d. h. nicht mit ponderabler Masse verbundene Elementarquanten sind, daß sie wesentlich die Stromleitung in festen Körpern bedingen, daß sie für die optischen Eigenschaften eines Körpers wesentlich sind, von radioaktiven Substanzen ausgeschleudert werden, und noch vieles andere mehr. Diese also auf Helmholtz zurückgehende Elektronentheorie, die in gewissem Sinn eine Rückkehr zu Vorstellungen von Wilhelm Weber bedeutet, ist heute bereits weit ausgebaut.

Neben allen diesen Arbeiten und vielen anderen hier gar nicht erwähnten entfaltete Helmholtz noch eine weite Tätigkeit als Leiter des Physikalischen Instituts sowie in Ausübung der vielen sonstigen amtlichen Pflichten der verschiedensten Art, die mit seiner Stellung verbunden waren. Die Arbeitslast drohte allmählich selbst für den so arbeitsfreudigen und arbeitskräftigen Mann übermächtig zu werden. Namentlich gegen Ende des Semesters stellten sich große Abspannung und Ohnmachtsanfälle ein, von denen er sich meist durch Reisen in die Schweiz zu befreien suchte.

Da trat ein glücklicher Umstand ein, der es ermöglichte, Helmholtz



für den Rest seines Lebens eine Stellung zu verschaffen, die ihm volle Freiheit für eigene wissenschaftliche Arbeit gewährte, ihn von den zeitraubenden amtlichen Verpflichtungen befreite, die mit seiner bisherigen Stellung als Universitätsprofessor verbunden waren, und doch seine Kräfte und sein organisatorisches Talent dem Staate erhielt. Von mehreren Seiten wurde schon im Jahre 1872 der Vorschlag zur Errichtung eines staatlichen Institutes gemacht, das ganz der Förderung der exakten Wissenschaften und der Präzisionsmechanik gewidmet sein sollte. Eine präzisere Form erlangten die Beratungen, an denen namentlich Helmholtz, Reuleaux, Förster und Werner Siemens teilnahmen, erst vom Jahre 1883 an. Helmholtz legte dabei besonderen Wert darauf, daß die zu gründende Anstalt besonders auch den Zweck verfolgen sollte, die Ausführung rein wissenschaftlicher Aufgaben in ihr Programm aufzunehmen, insbesondere solcher, deren Durchführung für die bisherigen in erster Linie dem Unterricht dienenden Institute wegen ihrer Kostspieligkeit nicht möglich war. In hochherziger Weise beseitigte Werner Siemens die dem Projekt hindernd im Weg stehenden finanziellen Bedenken, indem er dem Deutschen Reich schenkungsweise ein großes, in Charlottenburg gelegenes Grundstück überließ.

Das neue in seiner Art einzig dastehende Institut erhielt den Namen Physikalisch-Technische Reichsanstalt, und Helmholtz wurde zu ihrem Präsidenten ernannt. Eine gewaltige Arbeit war es, die Helmholtz hiermit in seinem 67. Lebensjahr noch auf sich nahm. Handelt es sich doch um eine Anstalt von ganz besonderer Eigenart, für die es noch nirgends ein Muster gab; es galt, die Organisation eines gänzlich neuen Instituts von Grund auf durchzuführen. Unterstützt von einem großen Stabe tüchtiger, wissenschaftlich oder technisch erfahrener Männer hatte Helmholtz bald die Freude, die ihm anvertraute Schöpfung aufblühen zu sehen.

Noch in ganz anderer Hinsicht erlebte er in jenem Jahre eine besondere Freude, und zwar durch die berühmten Versuche seines Schülers Heinrich Herz, durch die der endgültige Sieg der Faraday-Maxwell'schen Vorstellungen herbeigeführt wurde. Mit lebhaftestem Anteil und Spannung verfolgte er die Entstehung dieser epochemachenden Arbeiten und beglückwünschte Herz aufs freudigste.

Seit jener Zeit zog Helmholtz auch noch die meteorologischen Erscheinungen in den weiten Kreis seines Forschens, wie immer, so



auch hier Licht in bisher ungelöste Rätsel und Probleme bringend. Seine Arbeiten im Verein mit denen von Bezolds, seines Kollegen an der Berliner Universität, haben die mathematische Behandlung meteorologischer Probleme erst recht begründet.

Von seinen Leistungen auf diesem Gebiet möge nur einiges wenige herausgegriffen werden. So lieferte er zuerst die Erklärung der sogenannten Schäfchen- oder Lämmerwolken. Er zeigt zunächst, daß es unter gewissen Umständen in der Atmosphäre zur unmittelbaren Übereinanderschichtung von zwei Schichten verschiedener Temperatur und auch verschiedener Geschwindigkeit kommen kann, die durch eine scharfe Trennungsebene voneinander geschieden sind, ähnlich wie sie etwa bei einem aus einer Öffnung mit großer Geschwindigkeit ausströmenden Luftstrahl sich bekanntermaßen bilden, wo die sich schnell bewegenden Luftteilchen des Strahlrandes eine scharfe Grenze gegen die umgebende völlig ruhende Luft bilden. Es ist nun aber auch bekannt, daß solche Gebilde einen labilen Zustand bilden, der bei geringer Störung Anlaß zur plötzlichen Ausbildung von Wirbeln gibt, die dann eine Vermischung der beiden Schichten zur Folge haben. Haben wir in der Atmosphäre zwei solche übereinanderliegende Schichten verschiedener Temperatur, so werden diese Störungen ähnlich wie Wasserrinnen verlaufen, wenn an das ruhende Wasser eine bewegte Luftschicht grenzt, d. h. wenn Wind darüber weht. Es werden sich an der Grenzfläche solcher Schichten parallele Wellenzüge ausbilden, Wolkenstreifen. Diese können nun gekreuzt werden von einem zweiten, nach anderer Richtung erfolgenden Anstoß, was dann den Anlaß zur Bildung der Schäfchenwolken gibt. Solche scharfen Geschwindigkeits- und Temperaturdifferenzen in aneinandergrenzenden Luftschichten sind bei Ballonfahrten oft konstatiert worden.

Helmholz zog ferner den Schluß, daß es neben diesen verhältnismäßig kleinen Wellen auch zur Bildung außerordentlich langer Wellen, etwa von Kilometerlänge kommen kann, die sich uns dann als böiges Wetter mit periodisch sich folgenden Regengüssen fundtun.

Die allgemeine Verehrung für den „Meister“, wie ihn seine Schüler zu nennen pflegten, zeigte sich in glänzender einmütiger Weise bei der Feier seines siebenzigsten Geburtstages. Die Regierung, die Universitäten, Akademien und gelehrte Vereine aller Länder wetteiferten darin, ihm ihre Huldigungen darzubringen.



Am 8. November 1891 fand diese denkwürdige Feier statt. Die Berliner Akademie der Wissenschaften ehrte ihn durch die Gründung einer Stiftung, die seinen Namen trägt, und deren Aufgabe es ist, in bestimmten Zeiträumen hervorragenden Forschern, die sich in einem der von ihm gepflegten Arbeitsgebiete ausgezeichnet haben, eine mit seinem Bilde und Namen geschmückte Medaille zu verleihen. Eine besondere Freude war ihm die Ernennung zum Ehrenbürger seiner Vaterstadt Potsdam.

Mit unverminderter Schaffenskraft führte auch der Siebziger seine Forschungen weiter, die zunächst die Bedeutung des Prinzipes der kleinsten Wirkung in der Elektrodynamik betrafen. Von besonderer Bedeutung ist eine Arbeit, die er 1892 der Akademie vorlegte: Elektromagnetische Theorie der Farbenzerstreuung. Schon einmal hatte er sich viele Jahre früher mit der Erklärung der Dispersionserscheinungen auf Grund der damals allein bekannten mechanischen, elastischen Theorie des Lichtes befaßt. Inzwischen hatte nun Maxwell die elektromagnetische Theorie des Lichtes aufgestellt, wonach die Lichtwellen nichts anderes sind als elektromagnetische Wellen von entsprechend kürzer Schwingungsdauer. In der ursprünglich von Maxwell aufgestellten Form umfaßte jedoch die elektromagnetische Lichttheorie nicht die Erscheinungen der Dispersion, d. h. der Tatsache, daß Licht von verschiedener Schwingungsdauer in demselben Körper sich mit verschiedener Geschwindigkeit fortpflanzt, wodurch das Spektrum entsteht. Es handelte sich darum, eine Erklärung der Dispersionserscheinungen auf Grund der neuen Theorie zu geben. Helmholtz gab diese Erklärung, indem er die in seiner Faradayrede gezogenen Schlüsse über die Existenz von elektrischen Elementarquanten heranzog, die an jeder Valenzstelle eines Atoms sich befinden. Die Berücksichtigung der Bewegung, die diese elektrischen Ladungen auf den Atomen, den „Ionen“, ausführen, wenn sie von einem elektromagnetischen Wellenzuge getroffen werden, liefert, wie Helmholtz zeigt, unter Hinzunahme gewisser naheliegender Annahmen, eine Erklärung der Dispersionserscheinungen.

1893 fuhr Helmholtz als Vertreter des Deutschen Reiches beim Elektrischen Kongreß in Chicago nach Amerika. Diese Reise sollte jedoch mit einem jähen Unfall abschließen. Helmholtz stürzte auf der Rückreise von einer vom Schiffsdeck herabführenden Treppe und blieb besinnungslos und blutüberströmt liegen. Dank sorgfältiger



ärztlicher Behandlung und Pflege war er in verhältnismäßig kurzer Zeit wieder so weit hergestellt, daß er seine Amtsgeschäfte wieder aufnehmen konnte. Doch waren namentlich Sehstörungen zurückgeblieben, die erst allmählich schwanden. Auch ging ihm, wie er selbst berichtet, die geistige Arbeit nicht mehr in gleicher Leichtigkeit vonstatten wie früher. Er klagte, daß er zu jeder Arbeit die doppelte Zeit wie früher brauche.

Schwere Schicksalsschläge trafen ihn zudem in den nächsten Monaten. Besonders hart traf ihn der Tod seines Sohnes Robert, der sich bereits durch gründliche und inhaltreiche physikalische Arbeiten als talentvoller Physiker gezeigt hatte. Am 1. Januar 1894 erhielt er die Kunde von dem Tode seines Lieblingschülers Herz, auf den er die größten Hoffnungen gesetzt und von dem er vornehmlich die Fortsetzung seines eigenen Lebenswerkes erwartet hatte. In ergreifenden Worten gab er seiner tiefen Erschütterung Ausdruck. Ein herrliches Denkmal setzte er ihm in der Vorrede, die er zu dessen postumem Werke „Die Prinzipie der Mechanik“ schrieb.

Weiter riß das Schicksal Lücken unter seinen engsten Freunden und Sachgenossen. Am 21. Mai hatte er die traurige Pflicht, Worte des Abschiedes am Sarge seines Nachfolgers auf dem Lehrstuhl der Berliner Universität, Kundt, zu sprechen, der mitten aus lebensprühender Tätigkeit durch ein Herzleiden der Wissenschaft im kräftigsten Mannesalter entrisen wurde. Teilnehmer jener Trauerfeier berichteten von der ganz besonderen Bewegung und Ergriffenheit, die Helmholtz dort zeigte.

Rüstig arbeitete er an seinen eigenen Untersuchungen weiter. Immer tiefer versenkte er sich in die Bedeutung des Prinzips der kleinsten Wirkung für das gesamte Naturgeschehen und machte bruchstückweise der Akademie Mitteilung von seinen Forschungen. Noch im Sommer sandte er an die Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane einen Aufsatz: „Über den Ursprung der richtigen Deutung unserer Sinneseindrücke“, worin er unter Ablehnung aller metaphysischen Spekulationen noch einmal den durch sein ganzes Leben von ihm festgehaltenen empiristischen Standpunkt in der Erkenntnistheorie auseinandersetzt und vertritt. Dieser Aufsatz ist für uns zu einem philosophischen Glaubensbekenntnis geworden, das der große Naturforscher am Ende seines langen erfolgreichen Lebens ablegt.



Am 9. Juli traf ihn seine Tochter mit Notizbuch und Bleistift an einem Fenster sitzend, in Gedanken versunken. „Sein Auge leuchtete, und eine auffallende Freudigkeit lag auf seinem Wesen. Er äußerte, daß er an diesem Tage Glück gehabt und etwas gefunden habe, was er und seit langer Zeit vor ihm viele gesucht haben . . .“ Er hat das Geheimnis dieses Fundes mit ins Grab genommen. Seine Tage waren gezählt. Am 12. Juli erlitt er einen schweren Schlaganfall, dessen Folgen er am 8. September erlag.

In ihm verlor die wissenschaftliche Welt den Mann, zu dem sie mit Stolz und Bewunderung als auf ihren Führer und Meister emporblickte. Vor allem ist es die Universalität seines Wissens und Forschens, die immer wieder Staunen erregen wird. Man mag zurückgehen in der Geschichte der Naturwissenschaft, so weit man will, man wird kaum einen Forscher finden, der auf einer so großen Anzahl von Gebieten in ähnlicher Art gleich fundamentale Leistungen aufzuweisen hat. Wohl ließen sich vielleicht Physiologen, Physiker, Mathematiker angeben, die auf ihrem Spezialgebiet ihn überragen, sicher aber keiner, der es ihm an Beherrschung und gleichmäßiger Förderung aller Gebiete gleichgetan hätte.

Dem Fernerstehenden, der nicht Sachmann in der Physik ist, mag es vielleicht erscheinen, als ob sein Schaffen in der Berliner Zeit nicht auf gleicher Höhe mit seinen Leistungen aus der ersten Hälfte seines Lebens stehe. Es liegt dies aber nur an dem wesentlich mathematischen Inhalt seiner letzten Arbeiten, die zudem auch sich stets an den äußersten Grenzen der Erkenntnis des mathematisch-physikalischen Wissens bewegten, wo ihm meistens nur noch die nächsten Sachgenossen folgen und ihn verstehen konnten, und wo elementare anschauliche Darstellung der Resultate kaum angängig ist. Auch wir mußten uns deswegen hier versagen, auf diese letzten Früchte Helmholtz'scher Tätigkeit einzugehen.

Äußerer Ruhm hat Helmholtz in so reichem Maße geerntet wie wohl wenige Gelehrte. Die mannigfachen Ehrenbezeugungen nahm er dankbar hin, in dem stolzen Gefühl, den Besten seiner Zeit genug getan zu haben. Überschwengliches Lob wehrte er ab. In einer Tischrede sagte er: „Wie verderblich der Größenwahn übrigens für einen Gelehrten werden kann, habe ich oft genug gesehen und habe deshalb stets mich zu hüten gesucht, daß ich diesem Feinde nicht verfiele. Ich wußte, daß strenge Selbstkritik der eigenen Arbeiten und



Fähigkeiten das schützende Palladium gegen dieses Verhängnis ist. Aber man braucht nur die Augen offen zu halten für das, was andere können, und was man selbst nicht kann, so finde ich die Gefahr nicht groß . . .“

Er verdankt seine großen wissenschaftlichen Erfolge neben seinem eminenten Talent vor allem auch seinem steten Fleiß, seiner nie erlahmenden Geduld und Ausdauer. Dabei war Helmholtz das Gegenteil von einem Büchergelehrten. Stets behielt er einen offenen Blick für alles, was ihm die Umgebung an Interessantem bot, und für ihn boten oft geringe Erscheinungen des Interessanten genug. Seiner Vorliebe für Musik wurde bereits gedacht; groß war auch seine Belesenheit in guter neuerer, auch fremdsprachlicher Literatur sowie seine Kenntnis der Werke der bildenden Kunst. Einseitigkeit war ihm völlig fremd; bei aller Gründlichkeit und Exaktheit, mit der er ein Problem anpackte, verlor er nie den allgemeinen Zusammenhang mit anderen Gebieten aus dem Auge, ja dieser war ihm im Grunde stets das Hauptziel. Besonders dankbar muß es anerkannt werden, daß Helmholtz sich stets bemühte, die Ergebnisse seiner Forschungen auch durch populäre Vorträge und Reden einem größeren Kreis von Gebildeten zugänglich zu machen. Diese Vorträge und Reden, die gesondert herausgegeben sind und bereits mehrere Auflagen erlebt haben, gehören zu dem Besten, was es an populären Darstellungen naturwissenschaftlicher Stoffe gibt. Wer Interesse für derartige Lektüre hat, dem können sie nicht genug empfohlen werden.

Seine wissenschaftlichen Abhandlungen sind in drei Bänden herausgegeben. Dem Gefühl der Dankbarkeit und Verehrung für ihren „Meister“ folgend, hat sich eine Anzahl seiner speziellen Schüler, Krigar-Menzel, Arthur Koenig, Richarz, Runge, vereinigt und eine Herausgabe seiner Vorlesungen über mathematische Physik veranstaltet, von denen ein kleiner Teil noch unter seiner Aufsicht gedruckt ist. Es sind das diejenigen Vorlesungen, die Helmholtz in seinen letzten Lebensjahren noch an der Universität in freiwillig übernommener Pflicht hielt.

Gewaltig wie sein ganzes wissenschaftliches Wirken war auch der Eindruck seiner äußeren Erscheinung und seines Auftretens. Eine Dornehmheit und abgeklärte Ruhe umgab ihn. Jedem, der das Glück hatte, ihm persönlich nahezutreten oder ihn auch nur gelegentlich zu sehen, wird der mächtige Eindruck des sinnenden, forschenden



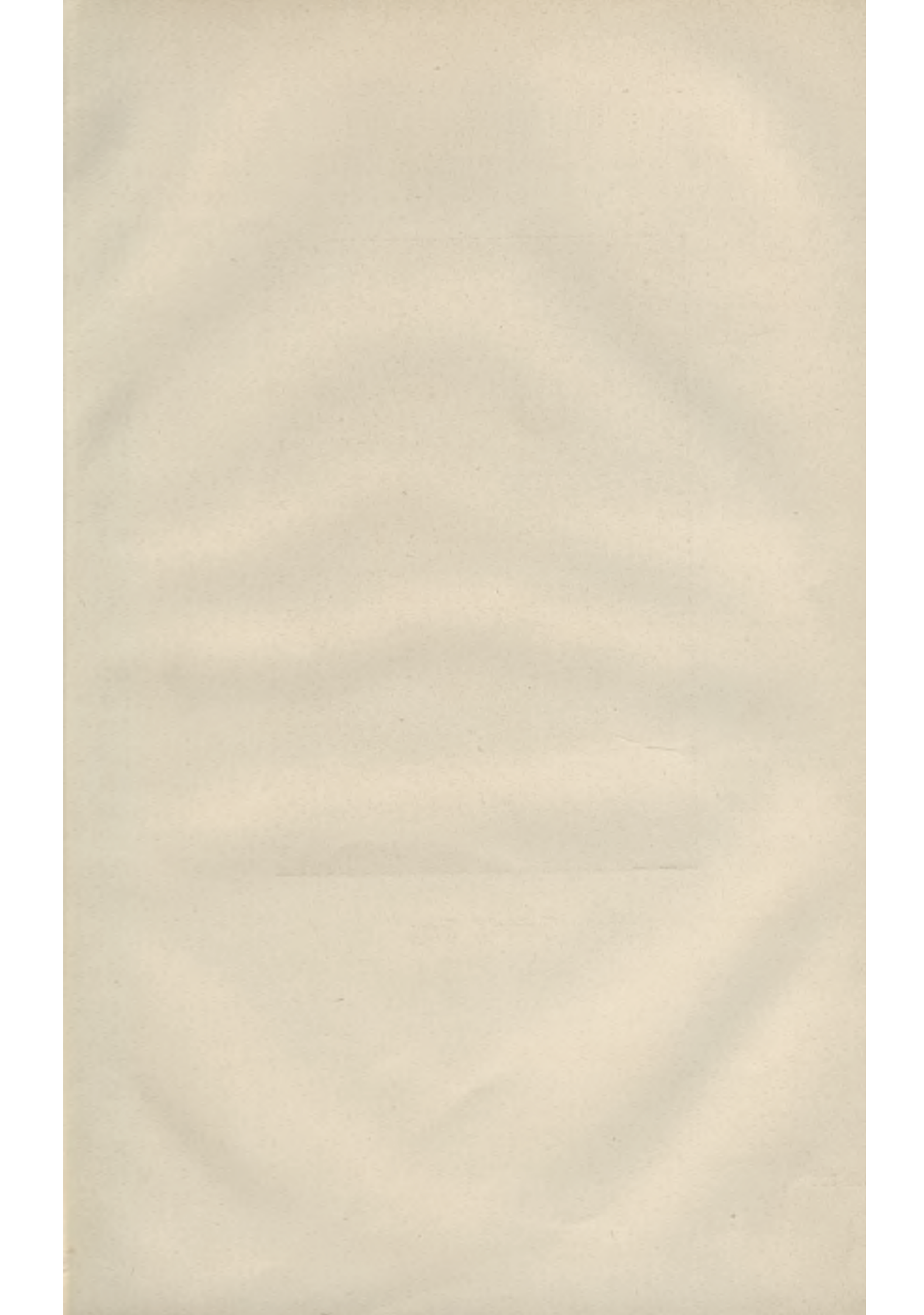
Blickes seiner Augen unvergeßlich sein. Nicht unfreundlichen Wesens, verstand er es doch, durch die Gemessenheit seines Auftretens plumpe Vertraulichkeit und Taktlosigkeiten von sich abzuwehren. In allen seinen Briefen spricht sich ein tiefes Gemütsleben aus, und ein gelegentlicher liebenswürdiger Humor, eine feine Schalkhaftigkeit lassen erkennen, daß ihm auch eine gewisse Heiterkeit nicht so fremd war, wie vielleicht mancher meinen mochte, der ihn nur bei offiziellen festlichen Gelegenheiten sah.

Sein Standbild erhebt sich, seiner Bedeutung entsprechend, an einer der vornehmsten Stellen der deutschen Reichshauptstadt, deren wissenschaftliche Zierde er durch fast ein Vierteljahrhundert war, im Vorgarten der Universität als ein Ausdruck des Dankes und der Verehrung, die ihm die Wissenschaft schuldet, und als ein mahnendes Vorbild für die deutsche studierende Jugend, es ihm gleichzutun an treuem Fleiß und ehrlichem Ringen nach Erkenntnis der Wahrheit.

## VI. Heinrich Herz.

Das Verdienst von Herz, das seinen Namen unsterblich macht, kann man wohl am kürzesten dahin zusammenfassen, daß er eine innige Verbindung von zwei vor ihm völlig getrennt voneinander bestehenden großen Gebieten der Physik, der Optik und der Elektrizität, nachgewiesen hat. Ein ähnlicher Fortschritt in der Physik war etwa zwei Menschenalter vorher erreicht worden, als Ørstedt die Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom und damit die enge Beziehung zwischen Elektrizität und Magnetismus entdeckte. Während jedoch die Entdeckung Ørstedts eine rein zufällige, nicht durch irgendwelche theoretischen Überlegungen bedingte war, erscheint die Abhandlung von Herz „Über Strahlen elektrischer Kraft“, in der er im Jahre 1888 die Mitwelt mit dem endgültigen Nachweis der Möglichkeit überraschte, Strahlen elektrischer und magnetischer Kräfte zu erzeugen, die in allen wesentlichen Eigenschaften mit Lichtstrahlen übereinstimmen, als das glänzende Schlußglied einer langen Reihe von folgerichtig auf das große Ziel hinleitenden Arbeiten. Als Leitstern diente dabei eine vollständig ausgearbeitete, seit Jahren vorliegende, von Maxwell, dem Interpreten der Faradayschen Vorstellungen herrührende Theorie, die dem Experiment weit vorauseilte.









*Heinrich Hertz*



Einem nur kurzen Leben ist die Erreichung so großer wissenschaftlicher Erfolge beschieden gewesen. Den bisher besprochenen Physikern war es vergönnt, in einer bis an und über die biblische Grenze reichenden Lebenszeit die Fülle ihrer Gedanken ausreifen lassen und in die Tat umsetzen zu können. Herz ist dagegen jung — im 37. Lebensjahre — gestorben.

Heinrich Herz wurde am 22. Februar 1857 in Hamburg geboren, wo sein Vater Rechtsanwalt war. Dort besuchte er auch die Schule, auf der er sich bereits durch die Vielseitigkeit seiner Interessen und seine gute Begabung in allen Gebieten, auch den Sprachwissenschaften, auszeichnete. Die Neigung zu den Naturwissenschaften und zur Technik veranlaßte ihn, nach Absolvierung des Gymnasiums 1875 sich zunächst dem Ingenieurfach zu widmen, das er in Dresden und München zwei Jahre hindurch studierte. Wie es scheint, hat ihn eine gewisse innere Bescheidenheit, ein Zweifel an seinen Fähigkeiten dazu geführt, sich nicht der reinen Wissenschaft selbst, sondern nur einem ihrer Anwendungsgebiete zu widmen. Er gewann jedoch allmählich die Überzeugung, eine volle Befriedigung nur in rein wissenschaftlicher Arbeit zu finden. 1877 entschloß er sich endgültig, ganz zum Studium der reinen Physik überzugehen. Er blieb noch einige Zeit in München und suchte dann im Herbst des nächsten Jahres die Universität Berlin auf, um im Laboratorium des Altmeisters der Physik, Helmholtz, zu arbeiten.

Helmholtz erkannte sofort die großen Fähigkeiten seines jungen Schülers. Als er ein Thema für eine physikalische Preisarbeit vorzuschlagen hatte, gab er ein solches aus dem Gebiet der Elektrodynamik, wie er selbst schreibt „in der sicheren, nachher auch bestätigten Voraussetzung, daß Herz sich dafür interessieren und sie mit Erfolg bearbeiten würde“. Es handelte sich um eine Prüfung einer von Wilhelm Weber aufgestellten elektrodynamischen Theorie, welche alle bis dahin bekannten elektrischen Erscheinungen aus der Annahme von elektrisch geladenen Teilchen erklärte, die in einem stromdurchflossenen Draht sich bewegen und Fernkräfte eigentümlicher Art aufeinander ausüben.

Sieht man diese hypothetischen elektrisch geladenen Teilchen als mit einer, wenn auch vielleicht kleinen gewöhnlichen trägen Masse verbunden an, so könnte man auf den Gedanken kommen, daß die Trägheit dieser Massen von meßbarem Einfluß auf den zeitlichen



Bewegungsverlauf, also die Strömung der Elektrizität, ist. Dieser würde eine Abweichung von den gewöhnlichen Gesetzen des Stromverlaufes ergeben müssen, und zwar eine um so größere, je schneller die Schwankungen der Kräfte sind, insbesondere z. B. bei dem Verlauf der Induktionsströme. Die Aufgabe bestand darin, festzustellen, ob ein solcher Einfluß der Trägheit vorhanden und nachweisbar sei. Hertz zeigte nun in der mit dem Preise gekrönten Arbeit, daß ein solcher Einfluß, wenn überhaupt, nur in äußerst geringem, genau angebbarem Grade vorhanden ist. Die Erscheinungen verlaufen im wesentlichen so, als ob die hypothetischen elektrischen Teilchen keine Trägheit besäßen.

Kurz nach dieser wesentlich experimentellen Arbeit sehen wir Hertz mit einer rein theoretischen Untersuchung über die Induktion in metallischen Kugeln beschäftigt, die zwischen den Polen eines Magneten rotieren. Er erwarb sich mit dieser Arbeit die Doktorwürde. Es zeigt sich hier bereits die für die Arbeitsweise und Vielseitigkeit von Hertz so charakteristische gleichmäßige bewunderungswürdige Begabung für die experimentelle wie für die theoretische Physik. Es wechseln bei ihm auch später in bunter Folge reine Experimentalarbeiten mit theoretischen Abhandlungen, deren jede die volle Beherrschung des experimentellen wie des theoretischen Rüstzeuges zeigt. Aus der Reihe von Arbeiten, die in den folgenden Jahren bis 1884 im Berliner Physikalischen Institut entstanden, an dem er seit 1880 als Assistent unter seinem von ihm aufs höchste verehrten Lehrer Helmholtz tätig war, seien nur einige herausgegriffen, die zu Ergebnissen von allgemeinem Interesse geführt haben. Eine theoretische Untersuchung aus dem Jahre 1881 beschäftigt sich mit den Druckverhältnissen bei der Berührung elastischer Körper, der Größe und Gestalt der Druckfläche, dem Spannungszustand im Inneren usw. Eine interessante Anwendung seiner Formel macht Hertz auf die Stoßzeit zweier mit bestimmter Geschwindigkeit aufeinanderstoßenden Kugeln. Die Zeitdauer der Berührung von zwei Stahlkugeln von der Größe der Erde, die mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 1 cm in der Sekunde zusammenträfen, würde, wie Hertz berechnet, nicht weniger als 27 Stunden betragen.

Eine praktische Anwendung seiner Formeln liefert er in einer präzisen Definition der sogenannten Härte eines Körpers, für welche bis dahin nur sehr unbefriedigende und in vielen Beziehungen



mangelhafte Begriffsbestimmungen vorlagen. Nach Herß soll die Härte eines Körpers gemessen werden durch denjenigen Normaldruck auf die Flächeneinheit, der im Mittelpunkt einer freisförmigen Druckfläche herrschen muß, damit in einem Punkte des Körpers die Spannungen eben die Elastizitätsgrenze erreichen. Die Herßschen Formeln sind später in der That zu Messungen der Härte benutzt worden.

Die Liebe zum Experiment machte sich nun wieder geltend, und zwar wandte sich Herß zur Untersuchung der damals noch so räthselhaften Erscheinungen der elektrischen Entladung in verdünnten Gasen. Mit ebensoviel Geschick wie Ausdauer baute er sich selbst hierzu eine aus 1000 Plantéschen Elementen zusammengesetzte Hochspannungstheorie. Zwei Folgerungen zog er hauptsächlich aus seinen Versuchen. Einmal, daß im Gegensatz zu mehrfachen früheren Behauptungen die Glimentladung nicht notwendig disruptiv, sondern kontinuierlich ist; sodann, daß die Kathodenstrahlen mit der Bahn des elektrischen Stromes nichts zu tun haben, sondern eine die Entladung nur begleitende Erscheinung sind.

Im Jahre 1883 habilitierte sich Herß in Kiel, wo er gleichzeitig einen Lehrauftrag für theoretische Physik erhielt. Unter den Arbeiten jener Kieler Zeit sei kurz eine zunächst paradox erscheinende Folgerung erwähnt, die Herß aus der Berechnung der bei schwimmenden elastischen Platten auftretenden Erscheinungen ziehen konnte. Wird eine auf Wasser gelegte Platte, deren spezifisches Gewicht größer als 1 ist, die also unter sinken würde, in der Mitte mit einem Gewicht belastet, so daß sie sich zu einer Art Boot wölbt, so wird sie bei genügender Größe des Gewichtes, nicht mehr unter sinken, sondern schwimmen, und zwar ist die Schwimmfähigkeit um so sicherer, je größer das belastende Gewicht ist. Eine Grenze ist dabei nur durch die Elastizitätsgrenze und Bruchfestigkeit der Substanz gegeben.

Serner sei noch eine in jener Zeit entstandene, einem ganz anderen Gebiet, der Meteorologie, angehörende Abhandlung erwähnt, in der er zum praktischen Gebrauch auf Grund der mechanischen Wärmetheorie eine bequeme Tafel berechnete, aus der graphisch die Zustandsänderungen bequem entnommen werden können, die feuchte Luft erleidet, welche aufsteigt und sich dabei nach allgemeinen physikalischen Gesetzen abkühlt. Herß hat für die vier verschiedenen Zustände, welche die Luft hierbei nacheinander durchläuft, die sehr



zweckmäßigen, heute allgemein angewandten Bezeichnungen als Trocken-, Regen-, Hagel- und Schneestadium eingeführt.

Im Frühjahr 1885 folgte Herz einem ehrenvollen Ruf an die Technische Hochschule in Karlsruhe. Dort entstand nun in bewunderungswürdig rascher Folge die große Reihe seiner Experimentalarbeiten über die Ausbreitung der elektrischen Kraft, die den Höhepunkt seines Schaffens darstellen.

Die Entdeckungen, die in ihnen niedergelegt sind, bedeuten den endgültigen Sieg der von Maxwell in mathematische Form gebrachten Anschauungen Faradays von den elektrischen und magnetischen Erscheinungen, wie sie bereits bei der Lebensbeschreibung Faradays (S. 77 ff.) erörtert sind. Man kann diese kurz dahin zusammenfassen, daß hiernach die Umgebung eines Magneten oder eines elektrisch geladenen Konduktors sich in einem gegenüber dem normalen in irgendwelchem, im einzelnen seinem Wesen nach auch jetzt noch nicht bekannten veränderten Zustand befindet; daß dieser Zwangszustand ferner das Wesentliche dessen ist, was wir in bequemer kurzer Sprechweise dadurch ausdrücken, daß wir den Körper als elektrisch bzw. magnetisch bezeichnen; daß dieser eigentümliche Zustand der Umgebung geladener Körper in ihr Zug- und Druckwirkungen längs gewisser Linien, der sogenannten Kraftlinien ausübt, die, an den geladenen Körpern beginnend bzw. endigend, diese in Bewegung setzen, scheinbare Anziehungs- und Abstoßungskräfte ausüben; daß schließlich Störungen dieses als magnetische bzw. elektrische Kraft bezeichneten veränderten Zustandes des umgebenden Raumes sich mit endlicher Geschwindigkeit fortpflanzen.

Diese Anschauung bedeutete eine völlige Umkehr gegenüber der vor Faraday bestehenden. Nach dieser betrachten wir, wie Herz sich ausdrückt, die Anziehung zweier elektrischer Körper, „als eine Art geistiger Hinneigung beider zueinander. Die Kraft, welche jeder von beiden ausübt, ist geknüpft an das Vorhandensein des anderen Körpers. Damit überhaupt eine Kraft vorhanden sei, müssen mindestens zwei Körper vorhanden sein. Ein Magnet erhält gewissermaßen seine Kraft erst dann, wenn ein anderer Magnet in seine Nähe gebracht wird. Diese Vorstellung ist die reine Vorstellung der Fernkraft.“ Die mathematische Behandlung der Faradayschen Anschauungen durch Maxwell hatte ergeben, daß sich im reinen Äther Störungen der elektrischen und magnetischen Kraft in eigentümlicher zwangs-



weiser Verkettung miteinander als transversale Wellen im leeren Raum mit einer Geschwindigkeit fortpflanzen, die zahlenmäßig gegeben ist durch eine aus rein elektrischen Messungen zu entnehmende Größe, nämlich durch das Verhältnis der elektromagnetischen Einheit der Elektrizitätsmenge zur elektrostatischen. Die Messungen von W. Weber und R. Kohlrausch hatten hierfür merkwürdigerweise eine der Lichtgeschwindigkeit gleiche Zahl ergeben, so daß also hiernach die elektromagnetischen Wellen sich im leeren Raum theoretisch mit Lichtgeschwindigkeit fortpflanzen. Durch diese Übereinstimmung wurde Maxwell zu dem Schluß geführt, daß es derselbe Äther ist, der als Träger der elektromagnetischen wie der optischen Wellen dient, und weiterhin schließlich zu der kühnen Annahme, daß das Licht eine elektromagnetische Erscheinung ist, daß Lichtwellen nichts anderes sind als elektromagnetische Wellen von entsprechend kleiner Wellenlänge.

Diese weitreichenden rein theoretischen Folgerungen, zu denen Maxwell in Verfolgung der Faradayschen Anschauungen geführt wurde, sind es, die Herz durch das Experiment bestätigen konnte und dadurch mit einem Schlage diesem ganzen Gedankenkreis zum endgültigen Siege über die alte Fernwirkungstheorie verhalf.

Die einzelnen Etappen dieser Herzschen Versuchsreihe sind in kurzen Zügen folgende.<sup>1)</sup> Als allgemeinen Anlaß zu seinen Versuchen bezeichnet Herz selbst folgendes. Im Jahre 1879 hatte die Berliner Akademie als Preisarbeit die Aufgabe gestellt, irgendeine Beziehung zwischen den elektrodynamischen Kräften und der sogenannten dielektrischen Polarisation (einer mit dem geschilderten Zwangszustand im Äther zusammenhängenden Größe) nachzuweisen. Herz war von Helmholtz zur Bearbeitung dieser Aufgabe angeregt worden, hatte aber damals abgelehnt, da ihm Überschlagsrechnungen gezeigt hatten, daß es sich um Erscheinungen handelte, die an der Grenze der Beobachtungsmöglichkeit liegen. Es war aber sein Ehrgeiz geblieben, die Lösung später auf irgendeinem Wege zu finden.

Zuerst führte Herz den Nachweis des Vorkommens von wellenförmiger Ausbreitung elektrischer Spannungen auf Drähten. Diese Wellen pflanzen sich nahezu mit Lichtgeschwindigkeit fort, so daß nach

1) Nähere Ausführung s. in der anschaulichen Darstellung von S. Richter in „Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Elektrizität“. 2. Auflage. Teubner 1902.



Grundprinzipien der Wellenlehre außerordentlich schnelle Spannungswechsel erforderlich sind, damit die Länge dieser Wellen nicht zu groß wird, sondern eine im Laboratorium meßbare Größe erhält. Es gelang Herz, solche schnelle Spannungsänderungen hervorzubringen unter Benutzung der von Helmholtz schon in seiner Schrift über die Erhaltung der Kraft gezogenen Folgerung, daß die Funkenentladung einer Leidener Flasche nicht in einem einfachen Zusammenklappen der entgegengesetzten Ladungen, sondern in einem pendelförmigen Hin- und Herschwingen besteht. Durch sinnreiche Anordnungen konnte Herz feststellen, daß sich auf einem Draht, dessen eines Ende mit einer Leidener Flasche oder überhaupt einem schwingungsfähigen elektrischen System, einem sogenannten „Herzschen Erreger“, verbunden war, derartige rapide Spannungsänderungen fortpflanzen. Herz konnte ferner nachweisen, daß diese schnellen Spannungsänderungen wirklich regelmäßige Schwingungen sind. Er bediente sich hierzu der Erscheinung der sogenannten Resonanz, d. h. der Erscheinung, daß irgendein Gebilde, welches imstande ist, Schwingungen von einer ganz bestimmten Schwingungsperiode auszuführen, etwa eine Glocke oder eine Stimmgabel, zur Ausführung dieser Schwingung leicht angeregt werden kann, wenn es von den Impulsen getroffen wird, die von einem anderen in der Periode ihm gleichen Schwingungssystem ausgehen, wie etwa eine Stimmgabel durch eine andere von gleicher Tonhöhe, während dieses Mitklingen, diese Resonanz, in um so geringerem Maße stattfindet, je mehr die Schwingungsdauern der beiden Schwingungssysteme voneinander abweichen. Umgekehrt kann man schließen, daß jedesmal, wenn eine Resonanzerscheinung nachweisbar ist, die erregende Ursache eine Schwingung, eine Oszillation ist. Als erregtes System, als Resonator, benutzte Herz eine sehr einfache Vorrichtung, einen einfachen, bis auf einen kleinen offenen, als Funkenstrecke wirkenden Luftzwischenraum zu einem Kreise oder einem Rechteck zusammengebogenen Metalldraht. Herz stellte Resonanzwirkung fest, indem er zeigte, daß bei Benutzung eines bestimmten Erregers, der also eine bestimmte Dauer seiner Eigenschwingung, akustisch gesprochen, einen Ton von bestimmter Höhe hatte, die Funkenlänge eines in die Nähe gehaltenen Resonators von rechteckiger Gestalt, bei dem die Längen eines gegenüberliegenden Seitenpaares und damit seine Eigenschwingungsdauer veränderlich war, bei einer bestimmten Seiten-



länge am größten war, während sowohl größere wie kürzere Seitenlängen Funken von kürzerer Länge ergaben.

Daß in Drähten schnelle Schwingungen und Spannungsänderungen vorhanden sein können, hatte übrigens vor Herz, diesem unbekannt, zuerst von Bezold nachgewiesen. Es gelang Herz auch bald, nachzuweisen, daß diese in einem Draht wellenförmig sich fortpflanzenden schnellen Spannungs- bzw. Ladungswechsel, am Ende des Drahtes reflektiert, zurückgeworfen werden und durch ihr Zusammentreffen mit den hingehenden fortschreitenden Wellen nun sogenannte stehende Wellen auf dem Draht bilden können, wobei in regelmäßigen, durch die Wellenlänge bestimmten Abständen Stellen auftreten, die sogenannten Knoten, an welchen die elektrische Spannung dauernd den Wert Null hat, während dazwischen, in den Bäuchen, die Spannung im Tempo der Schwingung lebhaft zwischen ihren extremen positiven und negativen Werten hin und her schwankt.

Weiter konnte Herz zeigen, daß sich vom Erreger aus in dem Luftraum elektrodynamische Wellen, Wellen jenes eigenartigen als elektrische bzw. magnetische Kraft bezeichneten veränderten Spannungszustandes des Äthers ausbreiten, etwa wie von einer angeschlagenen, dem Erreger entsprechenden Glocke die akustischen Luftwellen ausgehen. Es gelang Herz auch, die Länge dieser Wellen elektrischer Kraft und der mit ihnen zwangsweise stets verbundenen Wellen magnetischer Kraft zu messen. Das Mittel hierzu war wieder die Erzeugung stehender Wellen durch Zusammenwirkung der vom Erreger ausgehenden mit den von einer Metallwand reflektierten Wellen. Mit Hilfe des Resonators suchte er im freien Luftraum zwischen Erreger und Metallwand die Stellen der Knoten und Bäuche der stehenden Welle ab. Die Wellenlänge ist wieder durch den Abstand eines Knoten vom übernächsten gegeben. Durch diesen Nachweis, daß die Wellenlänge eine bestimmte endliche Größe hat, war bewiesen, daß die elektrischen Störungen sich nicht mit unendlicher Geschwindigkeit momentan, sondern mit endlicher, wenn auch sehr großer Geschwindigkeit fortpflanzen; es war also damit die alte Fernwirkungstheorie zugunsten der Faraday-Maxwell'schen Vorstellungen widerlegt. Schließlich krönte Herz noch im Jahre 1888 diese für alle Zeiten grundlegenden Versuche durch die Herstellung von Strahlen elektrischer Kraft, indem er den Erreger in die Brennpunktlinie eines parabolischen Hohlspiegels stellte und so die Wirkung der sich sonst im Raum nach allen



Seiten hin ausbreitenden elektrischen Welle zusammenhielt, indem sie sich nun nach Reflexion am Hohlspiegel wesentlich nur als schmales Strahlenbündel parallel der Achse des Paraboloids ausbreitete, so wie das von den Fahrrad- oder Lokomotivenlaternen ausgehende Lichtstrahlenbündel.

Hertz zeigte, daß diese Strahlen elektrischer Kraft alle Eigenschaften haben, die man an Lichtstrahlen kennt. Sie pflanzen sich gradlinig fort, werfen Schatten hinter undurchsichtigen Substanzen, etwa dem menschlichen Körper, sie werden an Metallen nach dem Reflexionsgesetz reflektiert, beim Auftreffen auf ein anderes, für sie durchlässiges Medium werden sie nach dem Brechungsgesetz gebrochen, sie zeigen entsprechend der Art ihrer Herstellung Polarisation, seitliche Verschiedenheit senkrecht zur Strahlrichtung. Ein Unterschied gegenüber Lichtwellen ist nur durch ihre große, nach Metern zählende Wellenlänge gegeben, während die Längen der Lichtwellen von der Größenordnung von ein tausendstel Millimeter sind. Diese langen Hertschen Wellen gehen durch nichtmetallische Substanzen, wie etwa Holz, Backstein u. ä., welche für die Wellen des sichtbaren Lichtes, also Ätherwellen von sehr geringer Länge oft ganz undurchlässig sind, fast ungeschwächt hindurch. Für sie sind Türen und Wände durchsichtig, wie Hertz bereits feststellte.

Diese Versuche, die Hertz nur im kleinen Maßstab eines Hörsaales ausgeführt hat, sind heute, ins Große überseht, die Grundlage der von so ungeheurer, allgemein bekannter Bedeutung gewordenen drahtlosen Telegraphie.<sup>1)</sup> Es wäre nur gerecht, sie zu Ehren des Entdeckers dieses ganzen großen Gebietes Hertsche Telegraphie zu nennen.

Die Experimentierkunst Hertz' und seine Fähigkeit, aus zunächst unscheinbaren Vorgängen, welche anderen entgehen würden, die ihnen zugrundeliegende Erscheinung zu ermitteln, sie loszulösen von dem zufälligen, zunächst notwendig mit ihr vermengten bedeutungslosen Beiwerk und ihren physikalischen Kern herauszuschälen, zeigt sich an einer Entdeckung, die er gelegentlich seiner großen Versuchsreihe über die Ausbreitung der elektrischen Kraft machte und sofort konsequent verfolgte, bis er sie genügend aufgeklärt hatte.

Hertz hatte bei seinen Versuchen bemerkt, daß die Funken, die am Resonator bei größerem Abstand der einander zugekehrten Enden des zusammengebogenen Drahtes übersprangen, eine größere Funkenlänge hatten, wenn diese vom Licht des im Erreger überspringenden

1) S. z. B. Thurn, Funken-telegraphie; Sammlung: Aus Natur und Geisteswelt Nr. 167.



Funken beleuchtet wurde, als wenn die Funkenstrecke des Resonators hiergegen abgedunkelt wurde. Durch systematische Versuche gelang es Herz zu zeigen, daß diese Wirkung von dem unsichtbaren ultravioletten, jenseits des sichtbaren violetten gelegenen Licht herrührte, das von den Funken des Erregers ausging. Er wies nach, daß jedes ultraviolette Licht diese Wirkung auslöst. Diese Grunderscheinung ist der Ausgangspunkt zu dem heute in Verknüpfung mit der modernen Elektronentheorie von großer Wichtigkeit gewordenen Gebiet der lichtelektrischen Erscheinungen. Danach ist der ganze Vorgang zurückzuführen darauf, daß Metalle die kleinen in ihnen enthaltenen negativen Elementarteilchen der Elektrizität, die Elektronen, deren große Bedeutung für eine sehr große Reihe von Erscheinungen in den letzten Jahren immer mehr nachgewiesen ist, beim Auftreffen ultravioletten Lichtes in mehr oder weniger starkem Grade abgeben, in die Umgebung aussenden. Für Herz bedeutete diese Untersuchung nur eine Episode in dem Verlauf seiner Versuchsreihe über elektrische Wellen, die er sofort wieder aufnahm, nachdem er die Ursache der geschilderten merkwürdigen Erscheinung, den Einfluß des ultravioletten Lichtes auf die Funkenentladung, aufgedeckt hatte.

Kurz nach dem Abschluß seiner Versuche über elektrische Wellen wurde Herz 1889 zum Professor der Physik in Bonn ernannt, wo ihn zunächst Pflichten und Aufgaben der verschiedensten Art erwarteten. Nur wenige Lebensjahre waren ihm in der anmutigen Rheinuniversität beschieden. Noch viele Pläne zu neuen Arbeiten beschäftigten ihn. Doch das Verhängnis des Todes umschwebte ihn schon. Ein Ohrleiden stellte sich ein, das am Neujahrstage 1894 seinem von so großen Erfolgen erfüllten Leben und allen Hoffnungen, mit denen man allseits seinem weiteren Wirken entgegensah, ein Ende bereitete.

Kurz vor seinem Tode vollendete er noch das Manuskript eines tief sinnigen, seines Urhebers würdigen Werkes „Die Prinzipie der Mechanik“, das von seinem Schüler Lenard mit einem Nachrufe von Helmholtz, den das frühe Hinscheiden seines Lieblingschülers besonders schmerzlich traf, herausgegeben wurde. Er schrieb es, wie er sagt, um sich von dem drückenden Gefühl zu befreien, daß die Elemente der Mechanik für ihn nicht frei seien von Dunkelheiten und Unverständlichkeiten.

Während in den bisherigen klassischen Darstellungen der Mechanik vier Grundbegriffe, Länge, Masse, Zeit und dazu Kraft oder auch Energie, auftreten, unterscheidet sich die Herzsche Mechanik dadurch von ihnen, daß in ihr nur drei Grundbegriffe, Länge, Masse und Zeit, vorkommen.



Dazu tritt dann, in Anknüpfung an Helmholtzsche Gedanken, die Hypothese, daß zur Darstellung der ganzen Mannigfaltigkeit der sichtbaren Welt noch „verborgene“ unsichtbare Massen mit „verborgenen“ Bewegungen anzunehmen sind. Kraft und Energie sind in dieser Darstellung der Mechanik nur Begriffe, deren Einführung zwar zweckmäßig ist, denen aber keine selbständige Bedeutung zukommt. Den Massen sind nun, unabhängig von der Zeit, gewisseräumliche, durch das Experiment zu erforschende Zusammenhänge vorgeschrieben. Der weitere Zusammenhang zwischen Massen und Bewegungen ist dann durch ein einziges dynamisches Grundgesetz der Natur gegeben, welches lautet: „Jedes freie System beharrt in seinem Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung in einer geradesten Bahn.“ Wie man sieht, hat dieses Gesetz große Ähnlichkeit mit dem Gesetz der Trägheit der gewöhnlichen Mechanik. Herz erläutert sein Grundgesetz sehr anschaulich folgendermaßen: „Es sagt aus, daß, wenn die Zusammenhänge des Systems einen Augenblick gelöst werden könnten, sich dann seine Massen in geradliniger und gleichförmiger Bewegung zerstreuen würden, daß aber, da solche Auflösung nicht möglich ist, sie jener angestrebten Bewegung wenigstens so nahe bleiben wie möglich.“

Das ganze Buch ist in synthetischer Form geschrieben und bildet eins der lesenswertesten und originellsten Werke der theoretischen Physik. Allerdings hat weder Herz selbst, noch bisher jemand nach ihm spezielle Beispiele gegeben, welche die Überlegenheit der Herzschen Mechanik über andere erweisen könnten. Es ist auch gezeigt worden, daß eine gewisse, mit der Erfahrung nicht in Einklang stehende Folgerung, die nach Herz aus der klassischen Mechanik zu ziehen sein sollte, nur in einer irrtümlichen Art der Formulierung bzw. Anwendung eines Grundgesetzes der Mechanik beruhte.

Bewunderung ergreift uns, wenn wir das reiche Lebenswerk überblicken, das Herz in den wenigen Jahren des Schaffens, die ihm das Schicksal gönnte, geleistet hat. Wenn auch die Wissenschaft international ist, und wir Deutschen gern großen Männern, die uns neue Erkenntnisse verschafft haben, den Tribut der Verehrung und Dankbarkeit zollen, welcher Nation sie auch angehören mögen, so ist es doch ein berechtigter Stolz, der uns die Herzen höher schlagen läßt, bei dem Gedanken, daß uns Deutschen ein Mann wie Herz geschenkt worden ist.



## Literatur.

- Emil Wohlwill, Galilei und sein Kampf für die Kopernikanische Lehre. Erster Band. Hamburg und Leipzig 1909. Leopold Voß.
- Siegmund Günther, Kepler. Galilei. Bd. 22 der Sammlung: Geisteshelden. Eine Sammlung von Biographien. Herausgegeben von A. Bettelheim. Berlin 1896.
- Leonhard Stahl, Galilei und das Universum. Kulturträger. Bd. 24. Berlin und Leipzig 1908.
- Sr. Fuchs, Über das Leben und die Werke Galileis. Habilitationsrede 1878. Bonn, Emil Strauß.
- S. Rosenberger, Isaac Newton und seine Physikalischen Prinzipien. Leipzig 1895. Joh. Ambr. Barth.
- P. Harting, Christian Huygens, in zijn leven en Werken geschildt. Groningen 1868. Gebr. Hoitjema.
- J. Bosscha, Christian Huygens. Rede am 200. Gedächtnistage seines Lebensendes, gehalten von J. Bosscha. Aus dem holländischen übersetzt von Th. W. Engelmann. Leipzig 1895.
- J. H. Gladstone, Michael Faraday. Glogau.
- John Tyndall, Faraday und seine Entdeckungen. Eine Gedächtnisschrift. Autorisierte deutsche Übersetzung, herausgegeben von H. Helmholz. Braunschweig 1870.
- S. P. Thompson, Michael Faradays Leben und Wirken. Autorisierte Übersetzung von Agathe Schütte und H. Danneel. Halle a. S. 1900.
- Leo Koenigsberger, Hermann von Helmholtz. 3 Bände. Braunschweig 1903.
- W. von Bezold, Hermann von Helmholtz. Gedächtnisrede, gehalten in der Singakademie zu Berlin am 14. Dezember 1894. Leipzig 1895.
- Heller, Geschichte der Physik. 2 Bände. Stuttgart 1882—84.
- Rosenberger, Geschichte der Physik in Grundzügen. 3 Bände in 2. Aufl. Braunschweig 1882—90.
- E. Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung. Historisch-kritisch zusammengestellt von E. Mach. 6. Aufl. Leipzig 1908.
- S. Riehard, Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Elektrizität. 2. Aufl. Leipzig 1902.
- Nachruf von H. v. Helmholtz auf Heinrich Herz in: Gesammelte Werke von Heinrich Herz, Bd. III. Leipzig 1894.







## PHYSIK

Unter Redaktion von Prof. Dr. E. Warburg. Mit 106 Abbildungen. (Die Kultur der Gegenwart. Hrsg. von Prof. Paul Hinneberg. Teil III, Abt. III, 1.)

Geheftet M. 22.—, gebunden M. 24.—, in Halbfranz M. 26.—

Inhalt: I. Mechanik: E. Wiechert. II. Akustik: F. Auerbach. III. Wärme: E. Dorn, A. Einstein, F. Henning, L. Holborn, W. Jäger, H. Rubens, E. Warburg, W. Wien. IV. Elektrizität: F. Braun, J. Elster, R. Gans, E. Gehrcke, H. Geitel, E. Gumlich, W. Kaufmann, E. Lecher, H. A. Lorentz, St. Meyer, O. Reichenheim, F. Richarz, E. v. Schweidler, H. Starke, M. Wien. V. Optik: F. Exner, E. Gehrcke, O. Lummer, O. Wiener, P. Zeeman. VI. Allgemeine Gesetze und Gesichtspunkte: A. Einstein, F. Hasenöhrli, M. Planck, W. Voigt, E. Warburg.

„Der vorliegende Band ist ein glänzender Beweis für die Richtigkeit des dem gesamten Unternehmen der Kultur der Gegenwart zugrunde liegenden Gedankens, den gegenwärtigen Stand aller Wissensgebiete von den führenden Männern dieser Gebiete selbst darstellen zu lassen. Für die Physik ist dadurch ein Werk entstanden, das monumental genannt werden muß. Die Abhandlungen sind teils übersichtliche Zusammenfassungen von Forschungsergebnissen, teils lichtvolle Auseinandersetzungen über Prinzipienfragen. Jeder, der seine physikalischen Kenntnisse erweitern und vertiefen will, wird in dem Buche Genuß und reiche Belehrung finden.“ (Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht.)

## CHEMIE

Unter Redaktion von Geh. Hofrat Prof. Dr. E. v. Meyer. Allgem. Kristallographie u. Mineralogie. Unter Redaktion von Geh. Hof- u. Reg.-Rat Prof. Dr. Fr. Rinne. Mit 53 Abb. (Die Kultur der Gegenwart. Hrsg. von Prof. P. Hinneberg. Teil III, Abt. III, 2.) Geh. M. 18.—, geb. M. 20.—, in Halbfranz M. 22.—

Inhalt: Entwicklung der Chemie von Robert Boyle bis Lavoisier (1660.—1793): E. v. Meyer. Die Entwicklung der Chemie im 19. Jahrhundert durch Begründung und Ausbau der Atomtheorie: E. v. Meyer. Anorganische Chemie: C. Engler und L. Wöhler. Organische Chemie: O. Wallach. Physikalische Chemie: R. Luther und W. Nernst. Photochemie: R. Luther. Elektrochemie: M. Le Blanc. Beziehungen der Chemie zur Physiologie: A. Kossel. Beziehungen der Chemie zum Ackerbau: † O. Keller und R. Immendorf. Wechselwirkungen zwischen der chemischen Forschung und der chemischen Technik: O. Witt. Allgemeine Kristallographie und Mineralogie: Fr. Rinne.

„Dieser Band umfaßt eine Reihe ausgezeichnet geschriebener Einzeldarstellungen der chemischen Teilgebiete, bringt ein großes zuverlässiges Tatsachenmaterial und schildert die heute geltenden Hypothesen und Theorien. Wer sich als Laie einen Einblick in die Chemie verschaffen oder als Chemiker einen raschen Überblick über benachbarte Arbeitsgebiete gewinnen will, wird das Buch mit größtem Nutzen lesen.“ (Zeitschrift für angewandte Chemie.)

## NATURPHILOSOPHIE

Unter Redaktion von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. C. Stumpf. Bearb. von Prof. Dr. E. Becher. (Die Kultur der Gegenwart. Hrsg. von Prof. P. Hinneberg. Teil III, Abt. VII, 1) Geh. M. 14.—, geb. M. 16.—, in Halbfranz M. 18.—

Inhalt: Einleitung. Aufgabe der Naturphilosophie. Naturerkenntnistheorie. Gesamtbild der Natur.

Der Autor skizziert zunächst kurz die Geschichte der Naturphilosophie und zeigt daran die hohen Aufgaben dieser Wissenschaft im Kulturleben der Gegenwart. Es folgt eine Untersuchung des Begriffes „Natur“, dann die Naturerkenntnistheorie: eine Prüfung der Voraussetzungen der Naturforschung. Den Hauptteil bildet ein großzügiger Entwurf der eigentlichen Naturphilosophie, der ein modernes Gesamtbild der Natur liefert.

„Es ist dem Verfasser gelungen, in klarer, anregender, für jeden Gebildeten verständlicher Weise seinen Stoff vorzutragen. Nirgends, auch bei der Erörterung der schwierigsten Probleme nicht, verliert er sich in weitschweifigen Erörterungen; immer weiß er die hauptsächlichsten Meinungen scharf und präzise hervorzuheben, daß wir ein klares Bild von dem gegenwärtigen Stande unserer Naturerkenntnis erhalten. So ist dies Buch jedem zu empfehlen...“ (Nord und Süd.)

VERLAG VON B. G. TEUBNER IN LEIPZIG UND BERLIN



**Große Physiker.** Von Professor Dr. H. Reiserstein. Bilder aus der Geschichte der Astronomie und Physik. Mit 12 Bildnissen auf Tafeln. Geb. . . . . M. 3.—.

„Das mit guten Porträts ausgestattete Buch ist interessant und nicht zu schwer geschrieben. Als Wiederholungsbuch wird es den Studenten große Dienste leisten. Der Primaner und Sekundaner der höheren Lehranstalten wird es als wertvolle Ergänzung zu dem Physikunterricht in der Schule, in dem ja stets die biographische Seite zu kurz kommt, begrüßen.“ (Zeitschr. f. Philos. u. Pädag.)

**Werdegang d. modernen Physik.** Von Dr. H. Keller. Mit 13 Figuren. Geh. M. 1.20, geb. . . . . M. 1.50.

„Alle Probleme erscheinen hier im Lichte der geschichtlichen Entwicklung, und das trägt nicht nur wesentlich zum Verständnis bei, sondern gibt ihnen auch einen bes. Reiz.“ (Ztschr. f. d. ges. Fortbildungsschulw.)

**Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre.** Von Hofrat Prof. Dr. F. Auerbach. 4. Aufl. Mit 71 Fig. Geh. M. 1.20, geb. . . . . M. 1.50.

„... Es ist erstaunlich, was eine geistreiche und gewandte Feder aus den einfachsten Dingen zu machen, wie viel neue und interessante Seiten sie dem Bekanntesten abzugewinnen versteht.“ (Elektrotechn. Anzeiger.)

**Experimentalphysik.** V. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. R. Börsenstein. Mit 90 Abb. Geh. M. 1.20, geb. . . . . M. 1.50.

„Der Verfasser erörtert in mustergültiger Darstellung eine Reihe wichtiger Probleme und bietet Anregung zur Anstellung einfacher, leicht ausführbarer Versuche, weshalb dieses klass. Büchlein warm empfohlen werden kann.“ (Thüringer Lehrerzeitung.)

**Lehrbuch der Physik.** Von weil. Prof. E. Grimsehl. 3., verm. u. verb. Aufl. 2 Bde. Bd. I m. 1063 Fig. u. 2 farb. Taf., geb. M. 11.—, geb. M. 12.—; Bd. II mit 1 Bildn. Grimsehl u. 517 Fig. geb. M. 7.—, geb. M. 8.—; spitt. geb. M. 16.—, geb. . . . . M. 18.—.

„Das sehr flüssig geschriebene Werk behandelt den Stoff in klarer, einfacher Weise, durch häufig eingeschobene Beispiele die gegebenen Betrachtungen festigend, so daß auch beim Selbststudium wohl nirgends Schwierigkeiten auftreten werden.“

(Dinglers Polytechn. Journal.)

**Lehrb. d. Experimentalphysik.** V. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Wüllner. 4 Bde. 6. bzw. 5. Aufl. Geh. M. 32.—, geb. M. 40.—.

„Der Inhalt umfaßt alles, was gegenwärtig auf dem Gebiete der Wissenschaft bekannt ist; die diesbezüglichen Abhandlungen sind sehr ausführlich und klar gehalten.“

(Ztschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Vereins.)

**Repertorium der Physik.** V. Prof. Dr. R. H. Weber u. Prof. Dr. R. Gans. 2 Bde. I. Bd.: Mechanik u. Wärme. Unt. Mitarb. von F. A. Schulze-Marburg u. P. Herz. Göttingen. 1. Teil Mechanik, Elastizität, Hydrodynamik u. Akustik. Mit 126 Fig. im Text. Geb. M. 8.— 2. Teil: Kapillarität, Wärme, Wärmeleitung, kinetische Gastheorie und statistische Mechanik. Mit 72 Figuren im Text. Geb. M. 11.—, geb. M. 12.—. II. Band. In Vorb.

Das Repertorium soll mehr bringen als die elementaren Lehrbücher, indem es neuere Untersuchungen teils behandelt, teils wenigstens erwähnt, damit gewissermaßen das Studium der Einzelwerke über besondere Gebiete der Physik vorbereitet und Auffinden und Verständnis der Originalarbeiten erleichtert.

**Physik in graphischen Darstellungen.** Von Hofrat Prof. Dr. F. Auerbach. 1373 Figuren auf 213 Tafeln mit erläut. Text. Geh. M. 9.—, geb. . . M. 10.—.

„Die Anordnung ist systematisch und folgt der üblichen Einteilung der Physik in ihre einzelnen Zweige. Druck und Papier sind vorzüglich. Das Buch hat sicher einen hohen Wert.“ (Unterrichtsblätter f. Mathematik u. Naturwissenschaft.)

**Taschenbuch für Mathematiker und Physiker.** Unt. Mitwirk. namhafter Fachgenossen hrsg. von Hofrat Prof. Dr. F. Auerbach u. Prof. Dr. R. Kothe. I. Jahrg. 1909. Mit einem Bildnis Lord Kelvins. Geb. M. 6.—. II. Jahrg. 1911. Mit Bildnis H. Minowski. Geb. M. 7.—. III. Jahrg. 1913. Mit Bildnis Fr. Kohlrauschs. Geb. . . M. 6.—.

**Didaktik des physikalischen Unterrichts** von Prof. Dr. F. Poste. Mit 33 Figuren. (Didaktische Handbücher für den realistischen Unterricht. Bd. 4.) Geb. M. 12.—.

**Kleiner Leitfaden der praktischen Physik.** Von weil. Professor Dr. Fr. Kohlrausch. 2., vermehrte Aufl. (6. bis 10. Tausend). Mit zahlr. Fig. Geb. M. 4.—.

**Lehrbuch d. praktischen Physik.** V. weil. Prof. Dr. Fr. Kohlrausch. 12., verm. Aufl. In Gemeinschaft mit H. Geiger, E. Grüneisen, L. Holborn, W. Jaeger, E. Orlich, R. Scheel, O. Schönrock hrsg. von E. Warburg. Mit 389 Fig. Geb. M. 11.—.

Die neue Auflage, in der das Buch zum ersten Male nach dem Tode des Verfassers erscheint, enthält zahlreiche Zusätze und Ergänzungen, welche durch den Fortschritt der Wissenschaft geboten waren. Einzelne Abschnitte, z. B. diejenigen über den Druck, die Saccharimetrie, die Radioaktivität, und einige elektrische Kapitel haben deshalb größere Veränderungen erfahren.



**Einführung in das Studium der theoretischen Physik**, insbesondere in das der analytischen Mechanik. Mit einer Einleitung in die Theorie der physikal. Erkenntnis. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. P. Volkmann. 2., mehrf. umgearbeitete Auflage. Geh. M. 13.—, geb. . . M. 14.—.

„Die durchgehende Betonung philosophischer Auffassung, der enge Anschluß an die Leistungen der führenden Geister bilden eigentümliche Vorzüge des Werkes, durch die es eine große Anzahl interessierter Leser anziehen wird. Besonders wird die Wirkung auf die studierende Jugend eine nachhaltige sein.“ (Jahrb. üb. d. Fortsch. d. Mathem.)

**Vorlesungen über neuere Probleme der theoret. Physik.** Von Geh. Hofrat Professor Dr. W. Wien. Mit 11 Figuren. Geh. . . . . M. 2.40.

Es wird zuerst die Strahlungsformel abgeleitet, hieran schließt sich die Theorie der elektrischen Leitung in Metallen, die Theorie der Einsteinschen Schwanungen, endlich die Theorie der Röntgenstrahlen und Sekundärstrahlen.

**Experimentelle Elektrizitätslehre**, verbunden mit einer Einführ. in die Maxwell'sche u. die Elektronentheorie d. Elektrizität u. d. Lichts. Von Prof. Dr. H. Starke. 2. Aufl. Mit 334 Abb. Geh. . . M. 12.—.

„... Beide, Theoretiker wie Experimentator, kommen bei dem Buche infolge seiner eigenartigen Schreibweise auf ihre Rechnung, Lehrer sowohl wie Schüler. In geschickter Weise wechseln schematische Zeichnungen von Versuchsanordnungen mit der wirklichen Abbildung von Apparaten.“ (Archiv der Mathematik u. Physik.)

**Das Leitvermögen der Elektrolyte**, insbesondere der wässrigen Lösungen. Methoden, Resultate u. chem. Anwendungen. 2., verm. Aufl. Von weil. Dr. F. Kohlrausch u. Dr. L. Holborn. Mit in den Text gedr. Fig. u. 1 Tafel. Geh. M. 7.50, geb. M. 8.75.

Das Buch behandelt die Verfahren und die Hilfsmittel, die zur Messung der Leitvermögen von Elektrolyten dienen, und enthält eine Übersicht über die Messungsergebnisse, soweit sie sich auf wässrige Lösungen beziehen.

**Die Lehre von der Energie.** Von Oberlehrer A. Stein. Mit 13 Fig. im Text. 2. Aufl. Geh. M. 1.20, geb. . . . M. 1.50.

„Stein löst seine Aufgabe musterhaft; ohne eine Formel zu benutzen, werden die verschiedenen Energieformen betrachtet und auf die Sonne als Energiezentrum zurückgeführt. Das Buch ist reich an interessanten und lehrreichen Perspektiven, sodaß die Lektüre desselben auch für den Kundigen einen Genuß bildet.“ (Zeitschr. f. Schul-Geographie.)

**Das Prinzip der Erhaltung der Energie.** Von Geh. Reg.-Rat Professor Dr. M. Planck. 3. Aufl. (Wissenschaft u. Hypothese, Band VI). Geh. . . M. 6.—.

**Das Perpetuum mobile.** Von Dr. F. Schaf. Mit 38 Abb. Geh. M. 1.20, geb. M. 1.50.

„Das prächtige, mit großem wissenschaftlichen Ernst geschriebene Büchlein darf das Interesse aller Gebildeten beanspruchen.“ (Blätter f. d. bayer. Gymn.-Schulw.)

**Moleküle - Atome - Weltäther.** Von Prof. Dr. G. Mie. 4. Aufl. Mit Figuren im Text. 2 Bde. Geh. je M. 1.20, geb. je M. 1.50.

„... Für naturwissenschaftlich interessierte Gebildete jeden Standes verdient M.s. Darstellung warm empfohlen zu werden.“ (Physikalische Zeitschrift.)

**Das Relativitätsprinzip.** Eine Einführung in die Theorie von Professor A. Brill. Mit 6 Figuren. Geh. . M. 1.20.

„Die tatsächlichen Grundlagen dieser Theorie werden nur knapp gestreift, die möglichst scharfe logische Formulierung der grundlegenden Postulate gegeben, und dann aus diesen Grundlagen die mathematische Theorie in meisterhaft klarer und durchsichtiger Form und Anordnung errichtet. Wir können die muster-gültige Schrift wärmstens empfehlen.“ (Zeitschrift f. positiv. Philosophie.)

**Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation.** Von Prof. Dr. A. Einstein und Prof. Dr. M. Grossmann. I. Physikal. Teil v. A. Einstein. II. Math. Teil v. M. Grossmann. Geh. M. 1.20.

**Das Relativitätsprinzip.** Eine Sammlung v. Abhandlungen. Von Prof. Dr. H. A. Lorentz, Prof. Dr. A. Einstein u. weil. Prof. Dr. H. Minkowski. Mit Anmerkungen von A. Sommerfeld u. Vorwort v. D. Blumen-thal. 2. Auflage. Geh. M. 3.—, geb. M. 3.60.

**Lehrbuch der Physik für Mediziner, Biologen u. Psychologen.** Von Hofrat Prof. Dr. E. Lecher. 2. Aufl. Mit 514 Abb. Geh. M. 8.80, geb. M. 9.60.

„Seine Absicht, den Medizinern die Grundlagen der Physik und ihre Beziehungen zur Medizin und Biologie als nützlichen Wissens-schatz nahezu legen, hat der Autor durch seine kristallklare Darstellungsweise, die knappe scharfe Art der Definition und die sehr instruktiven Beispiele aus dem Grenzgebiet von Physik und Medizin glücklich erreicht.“ (Deutsche Mediz. Wochenschr.)

**Physikal. Experimentierbuch.** V. Studienrat Prof. H. Rebenstorff. 2 Tle. I. Teil: Für jüngere u. mittlere Schüler. Mit 99 Abb. Geh. M. 3.—. II. Teil: Für mittlere u. reife Schüler. Mit 87 Abb. Geh. M. 3.—.



**Die Lehre von der Wärme.** Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. R. Börnstein. Mit 33 Abb. Geh. M. 1.20, geb. . . M. 1.50.

„Börnsteins Werk ist nachzurühmen, daß es nicht eine trockene akademische Abhandlung ist, sondern durch die ständigen Beziehungen, die es mit dem praktischen Leben und den Anwendungen unterhält, frisches Leben erhält.“ (Neuland d. Wissens.)

**Einführung in die technische Wärmelehre.** (Thermodynamik.) Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. Mit 40 Abb. im Text. Geh. M. 1.20, geb. . . M. 1.50.

Mit großer Klarheit und Anschaulichkeit behandelt der Verfasser in diesem Bändchen unter Beschränkung auf die wichtigsten Regeln und Gesetze, deren praktische Verwendbarkeit grundsätzlich und überall durch Beispiele nachgewiesen wird, die Grundlagen der mathematischen Wärmetheorie.

**Mechanik.** Von Kaiserl. Geh. Reg.-Rat A. v. Jhering. 2 Bde. Jed. Bd. geh. M. 1.20, geb. M. 1.50. Bd. I: Mechanik der festen Körper. Mit 61 Abb. Bd. II: Mechanik der flüssigen Körper. Mit 34 Abb.

„Die 3. größten Teil aus d. Gebiete der Technik gewählten Anwendungsbeispiele sichern dem Büchlein das Interesse aller derer, die eine Orientierung auf dem Gebiete wünschen und machen es auch als Einführung für ein eingehenderes Studium d. Mechanik geeignet.“ (Naturwissenschaftl. Rundschau.)

**Aufgabensammlung aus der technischen Mechanik.** den Schul- u. Selbstunterricht. Von Prof. A. Schmitt. Mit zahlr. Fig. Geh. je M. 1.20, geb. je M. 1.50. I. Bewegungslehre, Statik. II. Dynamik. Zusammen 206 Aufgaben und Lösungen.

Im Anschluß an die Lehrsätze werden Aufgaben aus der Bewegungslehre, Statik und Dynamik gegeben u. teils rechnerisch, teils graphisch, wie auch nach beiden Meth. gelöst.

**Grundlagen d. Elektrotechnik.** Von Dr. A. Rott. 2. Aufl. Mit 74 Abbildungen. Geh. M. 1.20, geb. . . M. 1.50.

Die Auswahl des Stoffes und die Darstellungsweise sind durch das Bedürfnis des Anfängers bestimmt. Die Darstellung ist darauf gerichtet, bei dem Leser vor allem ein Empfinden für den gesetzmäßigen Zusammenhang der Erscheinungen zu wecken.

**Die Funkentelegraphie.** V. Telegrapheninspektor S. Thurn. 4. Aufl. Mit 51 Abb. Geh. M. 1.20, geb. . . M. 1.50.

„Bes. lobend muß hervorgehoben werden, daß auch die allerneuesten Errungenschaften auf dem Gebiete der Funkentelegraphie Berücksichtigung gefunden haben.“ (Die Flagge.)

**Radioaktivität.** Von Professor Dr. St. Meyer u. Prof. Dr. E. v. Schweidler. Mit 87 Abb. Geh. M. 22.50, geb. M. 24.—.

Durch das Erscheinen obigen Werkes, das sich auch auf Teilgebiete erstreckt, die in den Werken von Curie und Rutherford weniger ausführlich behandelt sind, wie z. B. die Radiochemie od. die Beziehungen der Geophysik zur Lufterlektrizität, ist einem langgehegten Wunsche der Fachgelehrten entsprochen.

**Das Radium und die Radioaktivität.** Von Dr. M. Centnerszwer. Mit 33 Abb. Geh. M. 1.20, geb. . . M. 1.50.

„Der ganz gewiß nicht leicht gemeinverständlich zu behandelnde Stoff wird dem Leser in so klarer und anschaulicher Weise vorgeführt, daß d. Zweck vollst. erreicht wird.“ (Zeitschrift für öffentliche Chemie.)

**Handbuch d. angewandten Optik.** Von Dr. A. Steinheil u. Prof. Dr. E. Voit. I. Band. Voraussetzung für die Berechnung optischer Systeme und Anwendung auf einfache und achromatische Linsen. Mit in den Text gedruckten Fig. und 7 lithogr. Tafeln. Geh. M. 12.—. Hieraus bes. Beilagen. Geh. . . M. 3.—.

Vorliegendes Handbuch der angewandten Optik ist zunächst für den ausübenden Optiker bestimmt, den es in den Stand setzen soll, unter Voraussetzung nur elementarer mathematischer Kenntnisse, optische Systeme zu berechnen; es soll aber auch für jeden, der sich eingehender mit dem Gebrauche optischer Instrumente befassen will, zur Orientierung für die Berechnung u. Leistung derselben dienen.

**Die optischen Instrumente.** Von Dr. M. v. Rohr. 3. Auflage. Mit zahlr. Abb. Geh. M. 1.20, geb. . . M. 1.50.

„Wer die Schwierigkeiten und den Umfang der Abbeschen Theorie der optischen Instrumente kennt, wird der vortrefflichen, allgemein verständlichen Darstellung seine Anerkennung nicht versagen können.“

(Streffleurs militär. Zeitschrift.)

**Photochemie.** Von Professor Dr. G. Rummel. Mit 23 Abbildungen. Geh. M. 1.20, geb. . . M. 1.50.

„Das Werkchen präsentiert sich jedem, der einigermaßen über chemische Kenntnisse verfügt, als ausgezeichnete Führer bei dem Spezialstudium der chemischen Vorgänge auf photographischem Gebiete.“

(Ztschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver.)

**Farben u. Farbstoffe.** Ihre Erzeugung und Verwendung. Von Dr. A. Zart. Mit 31 Abb. Geh. M. 1.20, geb. . M. 1.50.

Das Bändchen unterrichtet an der Hand eines reichen Abbildungsmaterials über d. Natur, Erzeug. u. Verwendg. d. Farbstoffe.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Druck von B. G. Teubner in Leipzig.



# Leubners kleine Fachwörterbücher

geben rasch und zuverlässig Auskunft auf jedem Spezialgebiete und lassen sich je nach den Interessen und den Mitteln des Einzelnen nach und nach zu einer Enzyklopädie aller Wissenszweige erweitern.

„Mit diesen kleinen Fachwörterbüchern hat der Verlag Leubner wieder einen sehr glücklichen Griff getan. Sie erscheinen tatsächlich für ihre Sondergebiete ein Konversationslexikon und werden gewiß großen Anklang finden.“  
[Deutsche Warte.]

„Die Erklärungen sind sachlich zutreffend und so kurz als möglich gegeben, das Sprachliche ist gründlich erfaßt, das Wesentliche berücksichtigt. Die Bücher sind eine glückliche Ergänzung der Bände „Aus Natur und Geisteswelt“ des gleichen Verlags. Selbstverständlich ist dem neuesten Stande der Wissenschaft Rechnung getragen.“  
[Sächsische Schulzeitung.]

Bisher erschienen:

**Philosophisches Wörterbuch** von Studienrat Dr. P. Thormeyer.  
3. Aufl. (Bd. 4.) Geb. M. 4.—

**Psychologisches Wörterbuch** von Privatdozent Dr. F. Giese. Mit  
60 Fig. (Bd. 7.) Geb. M. 3.20

**Wörterbuch zur deutschen Literatur** von Studienrat Dr. H. Köhl.  
(Bd. 14.) Geb. M. 3.60

**Musikalisches Wörterbuch** von Prof. Dr. H. J. Moser. (Bd. 12.)  
Geb. M. 3.20

\* **Kunstgeschichtliches Wörterbuch** von Dr. H. Vollmer. (Bd. 16.)

**Physikalisches Wörterbuch** von Prof. Dr. G. Berndt. Mit 81 Fig.  
(Bd. 5.) Geb. M. 3.60

**Chemisches Wörterbuch** von Prof. Dr. H. Remb. Mit 15 Abb. u.  
5 Tabellen. (Bd. 10/11.) Geb. M. 8.60, in Halbleinen M. 10.60

\* **Astronomisches Wörterbuch** von Dr. J. Weber. (Bd. 13.)

\* **Geologisch-mineralogisches Wörterbuch** von Dr. E. W. Schmidt.  
2. Aufl. Mit zahlr. Abb. (Bd. 6.)

**Geographisches Wörterbuch** von Prof. Dr. O. Kende. Allgem.  
Erdkunde. Mit 81 Abb. (Bd. 8.) Geb. M. 4.60

**Zoologisches Wörterbuch** von Direktor Dr. Th. Kottnerus-  
Meßer. (Bd. 2.) Geb. M. 4.—

**Botanisches Wörterbuch** von Prof. Dr. O. Gerke. Mit 103 Abb.  
(Bd. 1.) Geb. M. 4.—

**Wörterbuch der Warenkunde** von Prof. Dr. M. Pletsch. (Bd. 3.)  
Geb. M. 4.60

**Handelswörterbuch** von Handelschuldirektor Dr. V. Sittel und  
Justizrat Dr. M. Strauß. Zugleich fünfssprachiges Wörterbuch, zusammen-  
gestellt von V. Armhaus, verpfl. Dolmetscher. (Bd. 9.) Geb. M. 4.60

\* **Sportwörterbuch.** Unter Mitwirkung zahlreicher Sportsleute heraus-  
gegeben von Dr. H. B. Müller, Vorsitzender des Leipziger Sportclubs.

\* [in Vorbereitung bzw. unter der Presse 1925]



## Grundzüge der Länderkunde

Von Prof. Dr. A. Hettner. 2 Bde. m. 466 Kärtchen, 4 Taf. u. Diagr. i. Z. I.: Europa. 3., verb. Aufl. Geh. M. 11.-, in Ganzl. M. 13.-. II.: Die außereuropäischen Erdteile. 1. u. 2. Aufl. Geh. M. 14.20, in Ganzleinen M. 16.-

„Hier haben wir das, was uns gefehlt hat, ein Buch von Meistertand geschrieben, für die weiten Kreise der Gebildeten. Das Werk ist reich an neuen Gedanken. Ein Prachstück ist z. B. der großartige Überblick über die politische Geschichte Europas vom geographischen Standpunkt gesehen.“ (München-Augsburger Abendzeitung.)

## Allgemeine Wirtschafts- u. Verkehrsgeographie

Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. K. Sapper. Mit 70 Kartogr. Darst. Geh. M. 12.-

In diesem Handbuch, das die Weltwirtschaft und den Weltverkehr in ihrer heutigen Ausdehnung auf der ihnen von der Natur gegebenen Grundlage und in ihrem geschichtlichen und kulturellen Zusammenhange zur Darstellung bringt, werden Produktion, Handel und Verkehr über die ganze Erde hin verfolgt.

## Anthropologie

Unt. Red. v. Geh. Med.-Rat Prof. Dr. G. Schwalbe u. Prof. Dr. E. Fischer. M. 29 Abb.-Taf. u. 98 Abb. i. Z. (Die Kultur d. Gegenw., hrsg. v. Prof. Dr. P. Hinneberg. Teil III, Abt. V.) M. 26.-, geb. M. 29.-, in Halbl. M. 34.-

Auf ihrem Gebiete führende Forscher haben sich in dem großangelegten, mit zahlreichen Originalabbildungen ausgestatteten Werke zu einer Gesamtdarstellung der Anthropologie, Völkerkunde und Urgeschichte zusammengefunden, der nach ihrem wissenschaftlichen Werte und ihrer Bedeutung für die Allgemeinheit nichts Gleiches an die Seite gestellt werden kann.

## Physik

Unt. Red. v. Hofrat Prof. Dr. E. Lohse. 2., verb. u. verm. Aufl. Mit 116 Abb. (Die Kultur d. Gegenw., hrsg. v. Prof. Dr. P. Hinneberg. Teil III, Abt. III, Bd. 1.) Geh. M. 34.-, geb. M. 36.-, in Halbleder M. 40.-

Das Erscheinen einer Neubearbeitung des Bandes, der eine für den Fachmann wie den für physikalische Probleme interessierten gebildeten Laien gleich wertvolle Darstellung gibt, wird bei der zunehmenden Bedeutung, die die Physik für viele Gebiete wie für die Ausgestaltung und Vereinheitlichung unseres Weltbildes gewonnen hat, besonders begrüßt werden, um so mehr als sich in ihr zahlreiche namhafte Physiker Deutschlands wieder mit den bedeutendsten Vertretern des Auslandes in gemeinsamer Arbeit vereinigt haben.

## Teubners Naturwissenschaftliche Bibliothek

„Die Bände dieser vorzüglich geleiteten Sammlung stehen wissenschaftlich so hoch und sind in der Form so gepflegt und so ansprechend, daß sie mit zum Besten gerechnet werden dürfen, was in vollständiger Naturkunde veröffentlicht worden ist.“ (Natur.)

Verzeichnis vom Verlag, Leipzig, Poststraße 3, erhältlich.

## Mathematisch-Physikalische Bibliothek

Hrsg. v. W. Liebmann u. A. Witting. Jed. Band M. 1.-, Doppelbd. M. 2.-

### ==== Band 50 ====

## Der Gegenstand der Mathematik im Lichte ihrer Entwicklung

Von Oberstudienrat Dr. H. Wieleitner

Das 50. Bändchen der Bibliothek will einen Überblick über das Gesamtgebiet geben, für das sie seinerzeit begründet wurde. Es will aufzeigen, wie die heutige Mathematik geworden ist und was sie will. Der hierzu besonders berufene Verfasser weiß in anschaulicher Weise die sachliche mit der geschichtlichen Entwicklung zu verbinden. Er läßt den Leser, der keiner besonderen Vorkenntnisse bedarf, zunächst das ganze Gebiet überschauen, um ihn dann, von der ja schon hoch entwickelten Mathematik der Griechen ausgehend, der modernen Mathematik zuzuführen und diese in ihren Hauptgebieten: Algebra, Geometrie und höherer Analysis näher zu betrachten. Zum Schluß wird in einem „Mathematik und Wirklichkeit“ überschriebenen Kapitel gezeigt, wieso eine Anwendung der Mathematik auf die Naturerscheinungen möglich ist und in welcher Art sie erfolgt.

Vollständiges Verzeichnis vom Verlag in Leipzig, Poststraße 3, erhältlich

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin



# Künstlerischer Wandschmuck für Haus und Schule

## Teubners Künstlersteinzeichnungen

Wohlfelle farbige Originalwerke erster deutscher Künstler fürs deutsche Haus. Die Sammlung enthält jetzt über 200 Bilder in den Größen 100×70 cm (M. 10.-), 75×55 cm (M. 9.-), 103×41 cm bzw. 93×41 cm (M. 6.-), 60×50 cm (M. 8.-), 55×42 cm (M. 6.-), 41×30 cm (M. 4.-). Geschmackvolle Rahmung aus eigener Werkstatt.

## Neu: Kleine Kunstblätter

24×18 cm je M. 1.-. Liebermann, Im Park. Brenkel, Am Wehr. Heder, Unter der alten Kastanie und Weihnachtsabend. Treuter, Bei Mondenschein. Weber, Apfelblüte. Herrmann, Blumenmarkt in Holland.

## Schattenbilder

**R. W. Diefenbach „Per aspera ad astra“.** Album, die 34 Teilb. des vollst. Wandfrieses fortlaufend wiederg. (20 1/2×25 cm) M. 15.-. Teilbilder als Wandfries (80×42 cm) je M. 5.-, (95×18 cm) je M. 1.25, auch gerahmt in verschied. Ausführ. erhältlich.

**„Göttliche Jugend“.** 2 Mappen, mit je 20 Blatt (34×25 1/2 cm) je M. 7.50. Einzelbilder je M. -.60, auch gerahmt in versch. Ausführ. erhältlich.

**Kindermusik.** 12 Blätter (34×25 1/2 cm) in Mappe M. 6.-, Einzelblatt M. -.60.

**Serda Luise Schmidts Schattenzeichnungen** (20×15 cm) je M. -.50. Auch gerahmt in verschiedener Ausführung erhältlich. Blumenoratel. Reissenspiel. Der Besuch. Der Liebesbrief. Ein Frühlingsstrauch. Die Freunde. Der Brief an „Ihn“. Annäherungsversuch. Am Spinett. Beim Wein. Ein Mädchen. Der Geburtstag.

## Frieze zur Ausschmückung von Kinderzimmern

**Neu: „Die Wanderfahrt der drei Wichtelmännchen.“** Zwei farbige Wandfries von M. Ritter. 1. Abschied - Kurze Nacht. 2. Hochzeit - Tanz. Jeder Fries mit 2 Bildern (103×41 cm) M. 6.-.

Serner sind erschienen Hermann: „Aschenbrödel“ u. „Kottäppchen“; Bauernfeind: „Der gestiefelte Kater“ u. „Die sieben Schwaben“; Rehm-Vietor: „Schlaraffenleben“, „Schlaraffenland“, „Englein 3. Wacht“ u. „Englein 3. Gut“ (103×41 cm, je M. 6.-); Orlik: „Hänsel und Gretel“ u. „Rübezahl“ (75×55 cm je M. 9.-).

## Rudolf Schäfers Bilder nach der Heiligen Schrift

Der barmherzige Samariter, Jesus der Kinderfreund, Das Abendmahl, Hochzeit zu Kana, Weihnachten, Die Bergpredigt (75×55 bzw. 60×50 cm). M. 9.- bzw. M. 8.-. Diese 6 Blätter in Format **Biblische Bilder** in Mappe M. 4.50, als 36×28 unter dem Titel Einzelblatt je M. -.75.

## Karl Bauers Federzeichnungen

Charakterköpfe zur deutschen Geschichte. Mappe, 32 Bl. (36×28 cm) M. 5.-. 12 Bl. M. 2.-.

Aus Deutschlands großer Zeit 1813. In Mappe, 16 Bl. (36×28 cm) M. 2.50. Führer und Helden im Weltkrieg. Einzelne Blätter (36×28 cm) M. -.50. 2 Mappen, enthaltend je 12 Blätter, je M. 1.-.

## Teubners Künstlerpostkarten

Jede Karte M. -.10, Reihe von 12 Karten in Umschlag M. 1.-. Jede Karte unter Glas mit schwarzer Einfassung und Schnur edig oder oval, teilweise auch in feinen Holzrahmchen edig oder oval. Ausführliches Verzeichnis vom Verlag in Leipzig. Ausführlicher Wandschmuckkatalog mit etwa 200 Abb. für M. -.75 und 10 Pf. Porto vom Verlag, Leipzig, Poststraße 3, erhältlich.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301491



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295959